



TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Joel Farran Seuma

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol de Treball Final de Grau: Implementació amb LabVIEW del sistema de control distribuït d'un procés de producció de pasta de paper

Director/a: Rosa Maria Gil Iranzo

Presentació

Mes: Juny

Any: 2018

Resum

A continuació es presenta un treball en el qual s'utilitza la plataforma de programari **LabVIEW** per a implementar un **sistema de control distribuït** d'un seguit de **processos** que es donen en una **indústria** de recuperació de paper.

L'observació de certes carències en el sistema de control que utilitzava l'empresa en el moment que s'ha realitzat el treball, ha sigut clau per desenvolupar un seguit d'estudis per tal de buscar una solució i dur-la a terme.

Al llarg del treball es veurà un seguit d'estudis i procediments que desencadenaran en la creació d'un nou software com a alternativa a l'actual, actualitzat, més eficient i accessible per a la realització de tasques de control en l'empresa en qüestió.

Juntament amb aquest treball no serà adjuntat el software que s'ha desenvolupat, ja que conté molta informació referent a l'empresa. Mitjançant un acord mutu, es va arribar a aquesta decisió a l'hora de negociar el consentiment de la utilització de les dades professional de l'empresa per la realització d'aquest projecte. De totes maneres el dia de la defensa del treball es reproduirà un vídeo amb tot el funcionament del software per a poder veure de primera mà totes les funcionalitats implementades.

Índex

1. Introducció	2
1.1. Motivació.....	3
1.2. Objectius	3
2. Diagrama de Gantt	4
3. Estat de l'art	6
3.1. Contextualització de la indústria.....	6
3.2. Detecció del problema i necessitats a satisfer	10
3.3. Estudis realitzats.....	10
3.4. Mancances i millores del nou software del sistema de control distribuït	11
3.5. Possibles solucions a adoptar.....	13
4. Anàlisi i disseny d'una solució	16
4.1. Introducció al LabVIEW	16
4.2. Estudi teòric del sistema de processos i creació del panel frontal	22
4.3. Estudi lògic del sistema de processos i creació del diagrama de blocs.....	36
4.4. El software de control	63
4.5. Simulació de l'adquisició de dades.....	71
5. Conclusions.....	72
6. Treball futur.....	74
7. Bibliografia	75
8. Annexos	76

1. Introducció

En el següent treball de final de grau en enginyeria electrònica industrial i automàtica, es troba un projecte executiu o constructiu, que com bé defineix la Norma UNE 157001:2014, aquests tipus de projectes estan compostos de certs documents, models o maquetes, en estat físic, lògic u altre, que té per objecte la definició i la valoració de les característiques d'un producte, obra, instal·lació, servei o software (suport lògic), que es requereix en funció del seu fi o destí.

Aquest treball ha estat realitzat, gràcies a certs factors que han estat observats i estudiats de primera mà, durant un període determinat de temps i que han desencadenat en un procediment d'investigació sobre el sistema de control distribuït d'un procés de producció de pasta de paper de color blanc en una indústria paperera.

Entre els elements que s'han observat, podem trobar, el fet que aquest sistema de control distribuït, reuneixi diferents factors que poden provocar, a llarg termini, una baixa eficiència laboral dels operaris que hi treballen, ja que li falten diverses funcionalitats adaptades a les tecnologies d'avui en dia. Amb això s'hi suma la impossibilitat d'extraure-hi dades d'interès de forma automàtica, entre altres aspectes.

El desenvolupament final d'aquest projecte, preveu per l'empresa, un volum d'inversió mitjà si finalment decidís tirar-lo endavant, però que esdevindria a un volum d'inversió major si es decidís actualitzar tots els processos de la fàbrica.

L'estructura del treball es pot dividir en una primera part que es denominarà estudi preliminar, d'on sorgirà la necessitat de satisfer certs aspectes que es creu que no són els més adients, tot seguit de la formulació d'una idea i la definició de diversos objectius. A aquesta part la seguirà l'avantprojecte o l'estudi de l'art, on es faran les pertinents investigacions per al final poder donar pas al disseny de detall del projecte.

La realització i direcció de l'obra no es durà a terme, ja que aquest treball és la primera part d'un gran projecte que necessita les altres parts perquè finalment s'implementi.

D'aquesta forma, es definirà el treball com la primera part de la implementació d'un nou sistema de control distribuït, fent referència solament a la interfície d'usuari, l'accessibilitat i les funcionalitats que pot aportar als diferents operaris que el puguin fer anar.

1.1. Motivació

La motivació que ha portat al desenvolupament d'aquest estudi inicial i posteriorment, la realització d'aquest treball de final de grau, es basa principalment en el fet de poder tenir l'oportunitat de realitzar, dins encara de l'àmbit acadèmic, però ja com a última empenta per ser impulsat en el món laboral, un projecte d'enginyeria que parteix d'una situació inicial, on s'observaran certes necessitats que podrien millorar amb escriure un procés de producció dins d'una indústria i que esdevindrà en una situació objectiu, fruit de la investigació i presa de decisions al llarg de l'estudi de l'art.

1.2. Objectius

Els diferents objectius que es pretén assolir en aquest treball són els següents:

- Crear una interfície gràfica del sistema de control distribuït (Distributed control System - DCS) que es pugui controlar tant de forma manual com de forma automàtica i que segueixi la lògica programada per al correcte funcionament de la maquinària del procés de producció de pasta de paper estudiat.
- Desenvolupar aquesta nova interfície gràfica amb un màxim d'accessibilitat per als operaris, independentment de les seves capacitats tècniques i físiques. Ha de ser intuïtiva per als nous operaris que entrin a treballar a la fàbrica i alhora mantenir la línia de l'antic software per als treballadors que ja hi estan acostumats.
- Millorar les possibles deficiències de l'actual DCS i crear noves funcionalitats que l'hi manquen, per tal d'establir un sistema de control més amè i potencialment eficient.

2. Diagrama de Gantt

Abans de començar a avançar amb el treball, es va decidir en els primers dies, fer un diagrama de Gantt per tal de planificar les diferents tasques del treball i organitzar-les en un gràfic temporal que ajudarà a saber l'envergadura de cada part a realitzar, així com una aproximació del temps que es tardarà en cada tasca i el temps total que es necessitarà per a realitzar el treball.

En la *Figura 1* es pot veure el diagrama de Gantt que es va planificar, tot seguit d'un altre diagrama fet quan el treball ja s'havia finalitzat, d'aquesta forma es pot contrastar i extreure diferents conclusions quant a la distribució del temps, la necessitat d'augmentar o disminuir el temps en alguna tasca o fins i tot la supressió o addició de diferents tasques.

En el diagrama de Gantt inicial, es va fer una planificació de la durada total del treball de 171 dies, mentre que finalment es va tardar 101 dies. Això va ser degut a diferents aspectes relacionats amb l'empresa amb la qual es va realitzar el treball i altres aspectes de caràcter personal. Tot i això, el resultat final no ha estat afectat per aquest factor.

En la part inicial del treball, precisament en les necessitats detectades i les solucions a adoptar, ambdues s'han allargat 1 setmana més a causa de les dificultats a l'hora de recopilar informació del problema a estudiar i la gran diversitat de plataformes per a donar solucions al problema en qüestió.

Respecte a la part d'anàlisi i disseny, s'ha trobat un procés més complex que el que s'esperava en un principi. Per altra banda, l'estudi lògic també ha suposat més temps, ja que la dificultat a trobar i entendre els manuals referents a la lògica que segueixen els equips de la indústria, va suposar la pèrdua de molt temps. Finalment es va decidir substituir la part de comunicació entre equips per la d'implementació de funcionalitats, ja que en un principi es creia que la implementació de les funcionalitats no ocuparia molt temps i finalment es va necessitar dedicar-hi més d'un mes.

Per acabar, la creació d'un prototip físic i l'estudi d'altres alternatives es va descartar des de quasi el principi, perquè es va creure oportú dedicar el temps que s'havia programat a aquesta tasca a realitzar altres labors més prioritàries.

Diagrama de Gantt inicial:

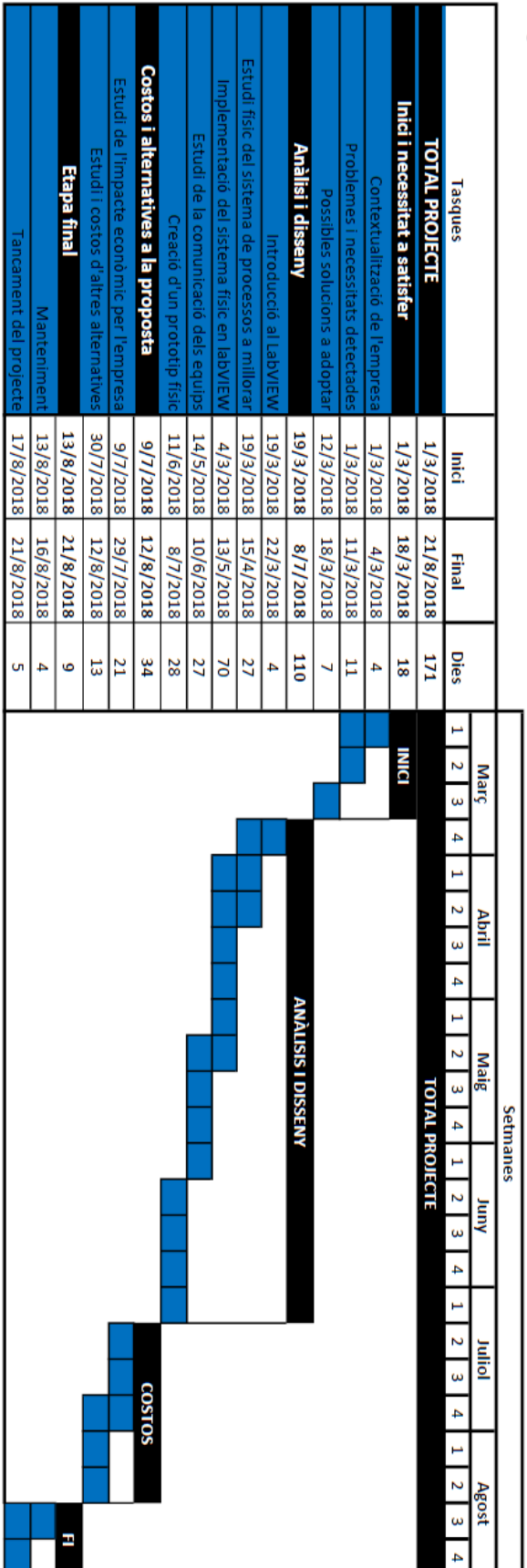


Diagrama de Gantt final:

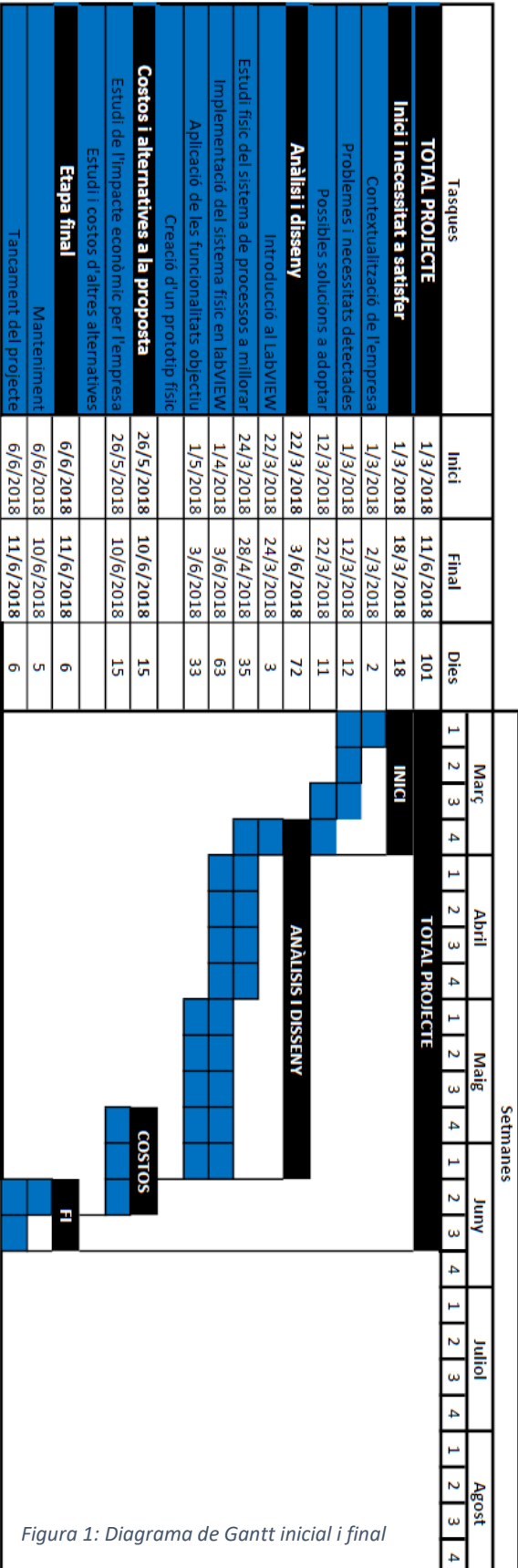


Figura 1: Diagrama de Gantt inicial i final

3. Estat de l'art

3.1. Contextualització de la indústria

Es va tenir l'oportunitat, dins el context de pràctiques curriculars, de veure com es treballa dins el departament de manteniment d'una indústria paperera. En un determinat moment, farà entre 20 i 30 anys enrere, la fàbrica va decidir invertir en l'automatització dels processos, tant de producció de paper, com de preparació de pasta de paper. Tots aquests anys, fins a arribar al moment de la realització del treball, la fàbrica ha estat dotada del mateix sistema de control industrial, que cada cop es va quedant més enrere a causa del fort avenç en les tecnologies d'aquest àmbit.

Sistema de control industrial actual

En la zona de preparació de pastes d'aquesta indústria, concretament el circuit analitzat, compta amb un sistema de control distribuït de la multinacional ABB Group, el qual es monitoritza des de diferents ordinadors situats en zones estratègiques de la mateixa empresa. Aquests ordinadors estan connectats entre si amb un protocol '*ethernet – TCP/IP*' mitjançant diferents '*hubs*', que alhora estan comunicats amb una unitat de control *DCU3200*, també de ABB Group. Aquesta unitat de control, té com a finalitat, llegir i/o enviar dades dels diferents mòduls d'entrada i sortida connectats directament als equips electromecànics, aquest cop, la comunicació entre els diferents mòduls i la *DCU* és mitjançant una targeta '*profibus*'.

El funcionament d'aquest sistema de control industrial es basa en la lectura o escriptura dels mòduls d'entrada i sortida, on es rep dades dels estats i/o s'envia ordres sobre com han d'actuar a qualsevol motor, bomba, vàlvula, transmissor o altre aparell connectat a la xarxa de control. L'anàlisi i decisió sobre quines són o han de ser les ordres que faran automatitzar el procés, venen definides automàticament per la configuració dels diferents mòduls de la *DCU3200* o manualment, mitjançant la decisió que pot prendre un operari des de un ordinador de control mitjançant el software del sistema de control distribuït.

La configuració de la lògica per l'automatització dels processos en la unitat de control DCU3200, es porta a terme mitjançant codi¹, amb un llenguatge de programació propi de la marca.

En el seu moment, es va guarda un registre esquemàtic dels diferents mòduls² per tal de facilitar l'enteniment de les diferents configuracions que aquests alberguen.

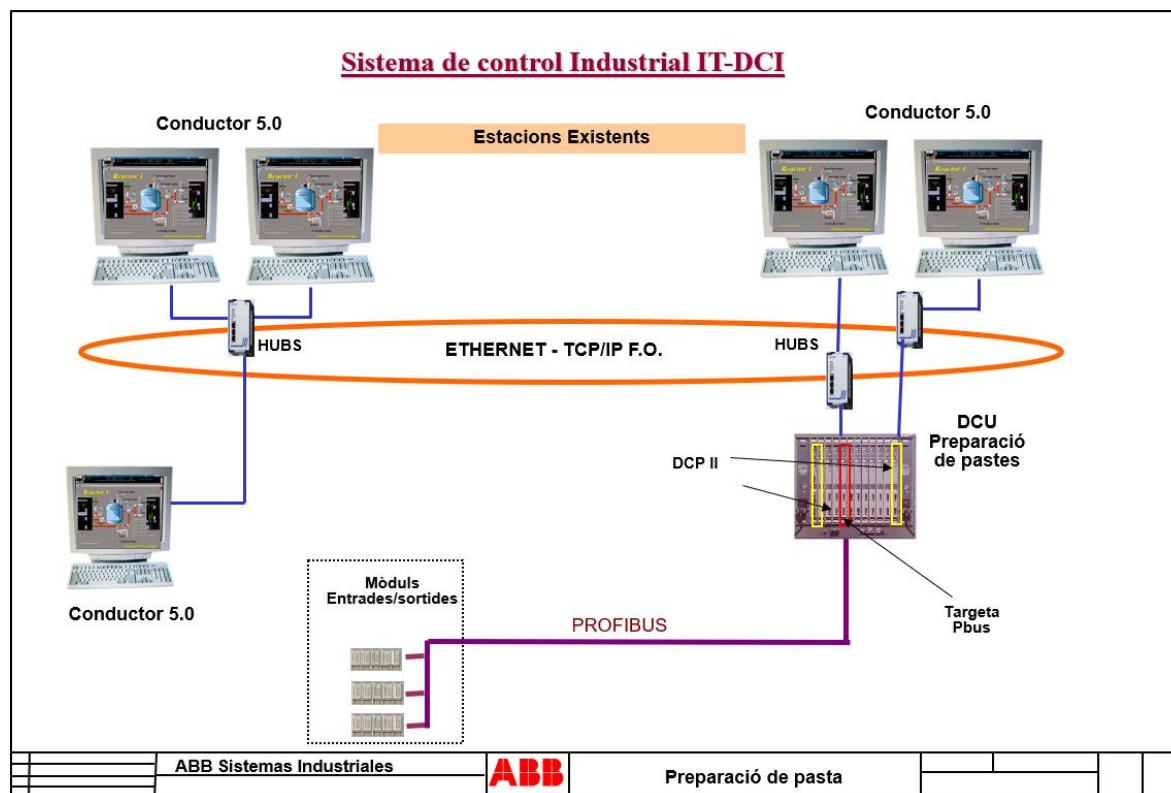


Figura 2: Esquema de la comunicació del sistema de control industrial facilitat per l'empresa

¹ Tota la programació i configuració dels mòduls de la DCU3200 es pot trobar a la 'DCU3200 Configuration guide' de ABB.

² Veure annex A4.

Software DCS³

Respecte al software del sistema de control distribuït de ABB Group, és un aplicatiu gràfic que es basa en un sistema de finestres, on en cada finestra, es mostra un procés, o part d'un procés de la fàbrica. Des de qualsevol ordinador de control amb el software del DCS es poden veure totes les finestres referents a tots els processos de la fàbrica.

La interfície gràfica consta de diferents dibuixos, fets amb ordinador però bastant precaris, els quals fan referència als diferents dipòsits, bombes, canonades, vàlvules i equips distribuïts al llarg de tota la fàbrica. Normalment els que estan en color verd són equips que estan en funcionament o vàlvules que deixen passar el fluid a través de la canonada, mentre que si estan en color negre o roig, no estan funcionant o són vàlvules tancades.

Les canonades poden tenir dos colors, marró per les que passa la pasta o blau cel per les que passa aigua. Les línies de control són de color groc i en els diferents llocs on hi ha un controlador apareix un botó amb una lletra 'C', si es fa clic, apareix una gràfica referent al controlador en qüestió.

A més dels botons dels controladors, també es poden trobar elements per clicar de forma que s'ordini la parada o posada en marxa d'un equip ('M' - marxa, 'P' - parada), el control automàtic o manual ('A' - automàtic, 'M' - manual) executar processos interns (per exemple un procés de neteja d'un depurador), o mostrar gràfics ('T').

Per altra banda també es troba botons amb una fletxa, que mostren en pantalla la finestra que fa referència a l'etiqueta que els acompanya. Quant a entrades que proporcionarà l'operari, també trobem elements que permeten entrar valors per a diferents configuracions del procés.

Uns altres elements que es poden trobar són caixes de text amb valors numèrics referents a sortides analògiques del sistema de control, majoritàriament dades dels diferents sensors presents al llarg del procés. Normalment totes aquestes caixes van acompanyades d'una etiqueta o 'tag'⁴, que ens dona informació sobre la sortida analògica a la qual fan referència.

³ En l'annex A3 es poden trobar imatges de les funcionalitats descrites en aquest apartat

⁴ Veure annex A1 referent a totes les etiquetes del sistema de control.

Per acabar, a les finestres principals de qualsevol part del procés, el software compta amb un menú superior on hi ha 4 opcions:

1. 'Window': permet manipular la finestra amb les opcions de minimitzar, maximitzar, desplaçar o tancar.
2. 'Select': obra un menú desplegable amb dues opcions:
 - 'Graphic': permet introduir un número referent a una altra finestra i et porta a ella.
 - 'Tag': permet introduir una etiqueta per tal que mostri la seva configuració.
3. 'Redraw': refresca la pantalla, ja que alguns cops les dades de les caixes de text es solapen i no es llegeixen correctament.
4. 'Zoom': obra una eina que permet ampliar o reduir la pantalla, juntament amb unes fletxes per a poder-se moure dins del 'zoom'.

3.2. Detecció del problema i necessitats a satisfer

Una de les tasques a realitzar dins de l'empresa durant el període de pràctiques tenia a veure en haver de localitzar diferents ubicacions d'equips de la fàbrica en el sistema de control distribuït.

En un principi, el software en què es basava el sistema de control era una eina més aviat contraproductiva, sortia més a compte anar a buscar algun equip físicament, que fer-ho des del software de control, tot i saber en quina part del procés estava. Això passava perquè tots els processos de la fàbrica figuraven en diferents finestres numerades aproximadament de l'1 al 500, sense seguir cap lògica i on l'única manera de moure't entre elles era ficant el número de finestra (1-500), avançant finestra per finestra o amb un menú on estaven abreviats tots els processos, de forma que sense llegenda no era possible saber a quin procés pertanyia cada element.

Per altra banda, es podia observar part de l'equip de treballadors que feia servir el software, que depenent de la feina que havien de fer, el software no aportava les funcionalitats que ells necessitaven. Per exemple, quan s'entrava a una finestra, sortia tot el que hi figurava, de forma que molts elements o etiquetes quedaven petites i era complicat veure-ho o llegir-ho. El programa comptava amb l'opció de fer 'zoom', però llavors era complicat moure's dins la finestra, de forma que si s'havia de fer diverses vegades, acabava suposant un problema. A això també se l'hi ha de sumar la necessitat de refrescar la finestra, ja sigui perquè no actualitzaven les dades a temps real o perquè aquestes es sobreescrivien damunt de les que ja hi havien, creant confusió o fins i tot la impossibilitat de llegir les dades.

3.3. Estudis realitzats

Arran d'aquests fets els quals es van anar observant al llarg de la pràctica, es va optar a fer un estudi del software, recopilant informació sobre les funcionalitats que aquest no era capaç d'aportar als operaris de la fàbrica.

Una de les tasques que es va dur a terme va ser contactar amb tots els treballadors que en un moment o altre feien anar el software del DCS i fer una recopilació de les diferents característiques

del software tot detallant quines funcionalitats estaven bé i no calia modificar i quines seria convenient afegir per tal de facilitar-li la seva feina i fer-la més eficient.

Es van realitzar un seguit de preguntes per als operaris per a poder ampliar la informació sobre les necessitats que ells tenien envers el sistema de control. Entre les preguntes es troben les següents:

- *Quins aspectes del sistema de control creus que es podrien millorar?*
- *Trobes a faltar alguna funcionalitat?*
- *S'haurien d'extreure o incloure noves eines per facilitar la teva feina?*

Es va preguntar a una dotzena d'operaris que tenien accés al software i es va poder comprovar que el que s'havia observat no eren problemes puntuals, sinó que tothom creia que el software del sistema de control necessitava una actualització. És llavors quan es decideix emprendre el projecte i plantejar una implementació del sistema de control en un altre software per tal de millorar l'eficiència i la qualitat del treball dels operaris encarregats de fer-lo anar.

3.4. Mancances i millores del nou software del sistema de control distribuït

En relació a les dades obtingudes pels operaris i el plantejament de solucions a aquestes, s'extreu la *Taula 1* on queda reflectit el conjunt de mancances que presenta el sistema de control, juntament amb les millores que es pretenen afegir al nou programa.

Tret de totes aquestes mancances, no tot el que té aquest sistema de control són punts negatius, la majoria dels operaris pensava que si no s'havia modificat el DCS, era perquè la seva funció era fer funcionar tots els processos i màquines de la fàbrica i això ho feia bé, de forma que també van destacar que la lògica de processos funcionava correctament i que convenia no modificar-la.

Moltes vegades s'utilitza l'expressió 'si una cosa funciona, no convé modificar-la', però estem parlant de més de 20 anys en què no s'ha modificat, de manera que seria un bon moment per fer-ho, ja que això no té per què implicar que deixi de funcionar si es fa una bona feina.

Mancances	Millors
La majoria dels equips i elements solament tenen una etiqueta amb una numeració referent a la ubicació.	Afegir botons amb la informació de l'equip.
El seguiment de les canonades i línies de control és complicat, ja que cada finestra pot tenir canonades i línies de control que ni comencen ni acaben en la mateixa finestra, ni a la següent o anterior.	S'implementarà tot el procés en una mateixa finestra, de forma que sempre es podrà veure on comença una canonada i on acaba.
Molts dels equips que figuren al DCS de forma virtual no s'assemblen realment als equips físicament.	S'intentarà introduir tots els equips amb la màxima semblança a la realitat
L'esquematzació de la lògica del sistema de control està tota feta a mà, de manera que si hi ha algun problema, trobar la solució desencadena un camí llarg i difícil.	Es buscarà un software que permeti visualitzar de forma paral·lela el procés en qüestió i la lògica pertinent, de forma que si hi ha un error o es vol fer un canvi, sigui ràpidament localitzable.
La presa de dades dels transmissors s'ha de fer manualment si es vol tenir un registre d'aquestes.	Afegir la funcionalitat de bolcat de dades d'interès, sigui en un document Excel o similar.
Navegació per les finestres poc fluida, l'opció del zoom es fa molest si s'ha de realitzar repetides vegades.	Sol hi haurà una finestra amb barres de desplaçament que permetrà una navegació fluida per tot el procés. S'eliminarà la funció del zoom, ja que no serà necessari ampliar.
Moltes canonades no es sap quin tipus de fluid hi passa i si hi està passant fluid o no en aquell moment.	Diferenciació de fluids en les canonades per colors i animació d'aquestes per diferenciar si hi està passant fluid o no.
Hi ha molts equips que ja no estan en funcionament i s'han desmuntat físicament, però encara apareixen al DCS. També hi ha configuracions velles que ja no es fan servir.	S'actualitzarà tot el procés eliminant tot allò que estigui anul·lat o desmuntat.

Taula 1: Mancances de l'actual software i millores per la futura actualització⁵

⁵ Aquesta taula es realitza mitjançant les respostes obtingudes pels diferents operaris que utilitzen el sistema de control

3.5. Possibles solucions a adoptar

D'entre les possibles solucions a adoptar, es pot trobar la possibilitat de reestructurar l'actual DCS, modificant-lo i adaptant-lo, però aquesta opció es va descartar des d'un principi i es va optar en fer un estudi, aquest cop, d'altres proveïdors o del mateix ABB Group, que ofereixin software preparat per poder desenvolupar tot el seguit de millores que s'han plantejat en la *Taula 1*.

Entre els candidats, trobem els següents softwares amb una breu descripció de com ens els presenten els respectius proveïdors.

- **ABB - Ability™ System 800xA DCS:** No solament és un sistema de control distribuït, sinó que també és un sistema de control elèctric i un sistema de seguretat amb la capacitat de millorar l'eficiència en l'enginyeria, el rendiment dels operadors i l'optimització dels recursos disponibles.
- **Siemens - SIMATIC PCS 7:** Molt més que un sistema de control distribuït, aquesta opció combina una única arquitectura pionera amb potents eines d'enginyeria i una gran varietat de funcions addicionals, com poden ser la gestió d'alertes, la seguretat dels processos i l'optimització dels recursos disponibles.
- **National Instruments - LabVIEW 2017:** És un software de desenvolupament per a l'enginyeria, capaç de desenvolupar sistemes personalitzats de proves, disseny i control en un entorn de programació gràfica.
- **Rockwell automation - FactoryTalk View Studio:** És una aplicació versàtil HMI (Human machine interface) que proporciona unes dedicades i poderoses solucions per als dispositius d'interfície d'operadors a nivell de màquina. Proporciona també gràfics superiors, gestió per part de l'usuari del temps d'execució de comandes, més ràpid que altres entorns de desenvolupament.

- **Omron - CX-Supervisor:** Aquesta opció compta amb potents funcions, destinades a una ampla gama de requisits de terminals programables basades en PC. Possibilitat de crear aplicacions senzilles sense cap problema amb un gran nombre de funcions i biblioteques predefinides. Molt senzill i intuïtiu d'utilitzar.
- **Emerson - Delta V:** Per últim, aquesta opció és un sistema d'automatització de fàcil ús que simplifica la complexitat operacional i disminueix el risc dels projectes. El conjunt de productes i serveis incrementa el rendiment de la planta amb un control intel·ligent que és fàcil d'operar i de fer-ne el manteniment.

No s'ha entrat en detall amb les característiques que presenten cadascun dels softwares, ja que la majoria d'ells proporcionen les mateixes funcionalitats, entre les quals cal destacar les següents:

- Sistemes de control industrial segurs i fiables.
- Espais de treball pels operadors 100% accessibles i ergonòmics.
- Gràfics i simulacions a temps real.
- Llibreries amb la majoria d'equips del mercat.
- Mode de fàcil edició d'arrossegar i deixar.
- Operacions eficients i intuïtives.
- Més virtualització, el que esdevé en més estalvi a l'haver menys hardware.
- Estratègies de manteniment predictiu d'equips
- Sistema d'operacions diàries i ordres de treball propi
- Adaptables amb la majoria de protocols de comunicació

Qualsevol de les possibilitats plantejades, sense tenir en compte pressupostos, seria una bona opció per al desenvolupament del projecte, ja que tots els proveïdors són especialistes en el control i ofereixen les tecnologies més recents i innovadores.

Després d'analitzar detingudament totes les possibilitats disponibles s'opta per desenvolupar el treball amb el software de National Instruments, LabVIEW 2017. Tot i que no és un software purament desenvolupat per al control distribuït, la principal raó per la qual s'ha escollit, és perquè LabVIEW disposa d'una interfície de programació gràfica adjuntada amb l'entorn gràfic de control.

Aquesta funcionalitat és interessant, ja que d'aquesta forma es pot evitar haver de guardar documentació referent a la programació i a les línies de codi, de manera que si hi ha un error o es vol fer qualsevol canvi sigui ràpidament localitzable el lloc on atacar. També cal destacar que LabVIEW ens permetrà una edició total del nostre software, ja que es desenvoluparan totes les funcionalitats des de zero i sense models predefinits, amb la qual cosa es pot ajustar més a les particularitats que s'han d'afrontar.

Finalment, aquesta és l'única opció de les destacades, amb la qual la universitat compta amb una llicència de software, d'aquesta forma també s'hi facilita l'accés.

4. Anàlisi i disseny d'una solució

4.1. Introducció al LabVIEW

National Instruments i LabVIEW

Des de fa més de 30 anys, National Instruments ha revolucionat la manera en què els enginyers i científics de la indústria, el govern i el món acadèmic enfoquen la presa de dades i l'automatització. Aprofitant ordinadors i tecnologies comercials, la instrumentació virtual augmenta la productivitat i disminueix els costos de proves, el control i d'aplicacions de disseny mitjançant un software fàcil d'integrar, com és NI LabVIEW.

LabVIEW està basat en la creació de software de programació gràfica per produir solucions definides per l'usuari que satisfacin necessitats específiques. A més, la instrumentació virtual capitalitza en el rendiment, cada vegada més gran, dels ordinadors personals. Per exemple, en proves, preses de dades de mesura i control, els enginyers han utilitzat la instrumentació virtual per reduir la mida dels equips d'assaig automatitzats (ATE) i al mateix temps obtenint fins a 10 vegades més guanys a la producció, reduint el cost de les tradicionals solucions d'instrumentació.

LabVIEW és una eina de programari líder en el sector per al disseny de sistemes de proves, mesura i control. Des de la seva introducció el 1986, enginyers i científics de tot el món que han confiat en el desenvolupament gràfic de NI LabVIEW per a projectes, al llarg del cicle de disseny del producte, han aconseguit una millora en la qualitat, un menor temps de comercialització i una major eficiència en enginyeria i fabricació. Com que LabVIEW té la flexibilitat d'un llenguatge de programació combinat amb eines integrades dissenyades específicament per a les proves, mesures i control, es poden crear aplicacions que van des d'un control de temperatura senzill fins a sofisticats sistemes de simulació i control. La instrumentació virtual és efectiva en molts tipus diferent d'aplicacions, tant pel disseny com pel prototipatge.

Funcionament i eines del software

El programa compta amb dos tipus de panels on treballar, es coneixen com a 'diagrama de blocs', entorn de programació gràfica on es mostren les funcionalitats del programa a desenvolupar i 'panel frontal', interfície d'interacció per l'usuari.

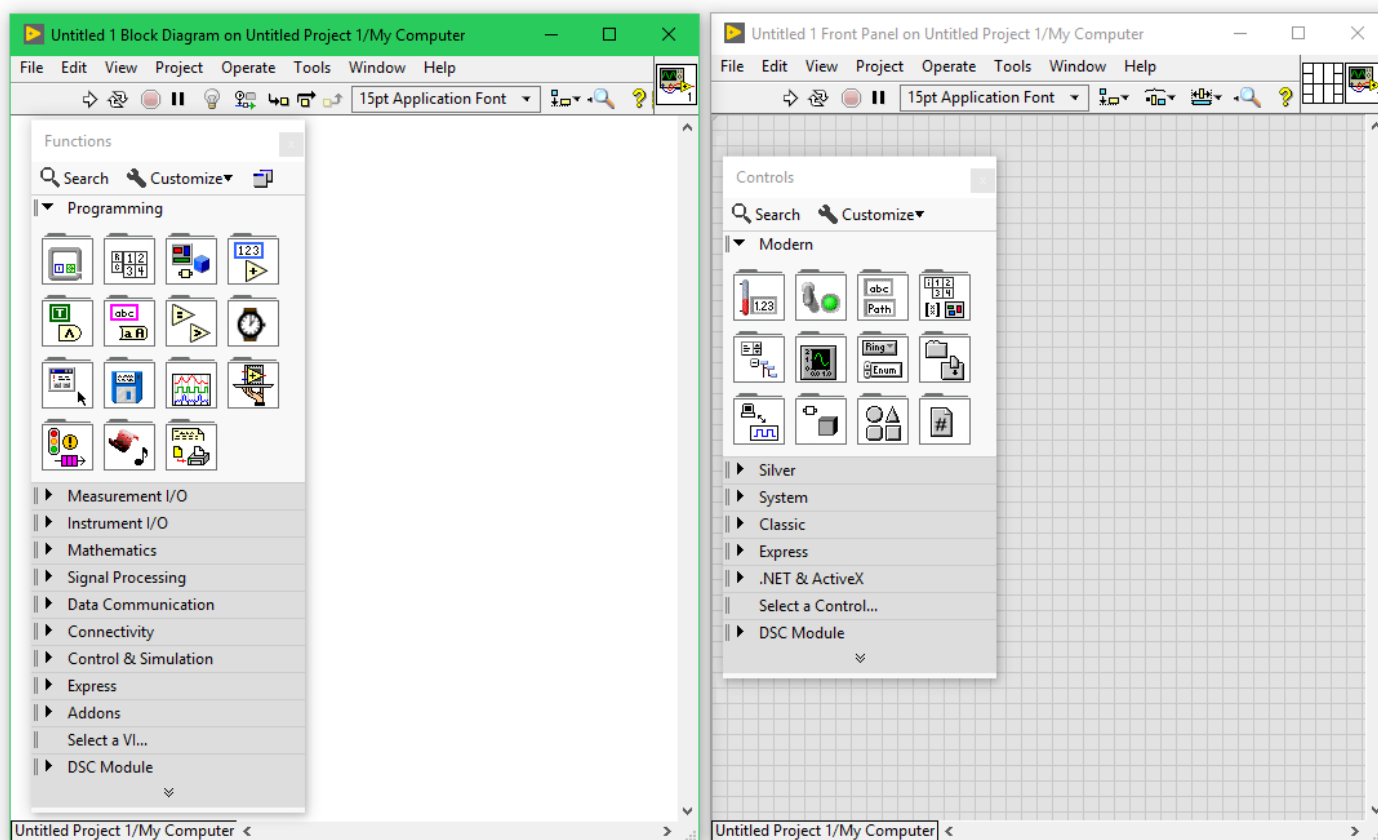


Figura 3: Interfície LabVIEW. A l'esquerra es pot veure el diagrama de blocs i a la dreta el panel frontal

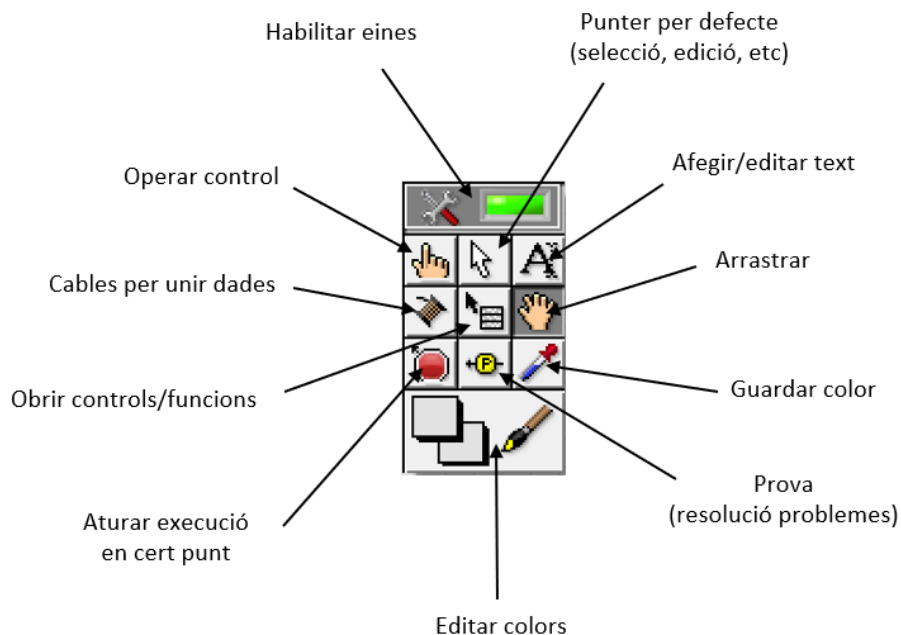


Figura 4: Eines disponibles en qualsevol de les dos interfícies

Diagrama de blocs

En el diagrama de blocs, trobem aquest seguit de funcions amb diverses característiques que ens ajudaran a l'hora de fer la programació del codi. Entre aquestes trobem les següents:

- **Programació:** Bucles i estructures, vectors, clústers, operacions numèriques, operacions booleanes, cadenes de caràcters, comparacions lògiques, temporitzadors, diàlegs i interfícies d'usuari, documents entrada/sortida, ones, control d'aplicacions, sincronització, gràfics i sons i generació d'informes.
- **Procés de senyal:** Generació, condicionament, operacions i mesures d'ones i senyals, finestres, filtres, anàlisis d'espectres, transformades i funcions punt a punt.
- **Mesures entrada/sortida:** Configuració del sistema i motor d'escaneig.
- **Instruments entrada/sortida:** Drivers d'instruments, assistent d'instruments entrada/sortida, VISA, GPIB i Serial.

- **Matemàtiques:** operacions numèriques, funcions elementals i especials, àlgebra lineal, ajusts, interpolació i extrapolació, integració i diferenciació, probabilitat i estadística, optimització, equacions diferencials, geometria, polinomis i scripts i fórmules.
- **Comunicació de dades:** Variables compartides, xarxes, variables locals, variables globals, operacions de cua, sincronització, presa de dades, protocols, model d'actors, EPICS, Modbus i eines RTI DDS.
- **Connectivitat:** Llibreries i executables, control de codi, serveis web, .NET, control de dispositius d'entrada, ActiveX, Accés al registre de Windows dels VI (Instrument virtual) i bases de dades.
- **Control i simulació:** controladors PID i lògica difusa.
- **Express:** Entrades, anàlisis de senyal, sortides, manipulació de senyal, control d'execució i aritmètica i comparació.
- **Afegits:** Accés a la xarxa d'eines de LabVIEW.
- **Selecciona VI:** Selecció d'un instrument virtual.
- **Mòdul DCS:** Alarmes i esdeveniments, historial, TAGs, variables compartides, motor de control, seguretat i control de procés estadístic.

Quant a la barra superior d'aquesta finestra trobem les següents funcionalitats:

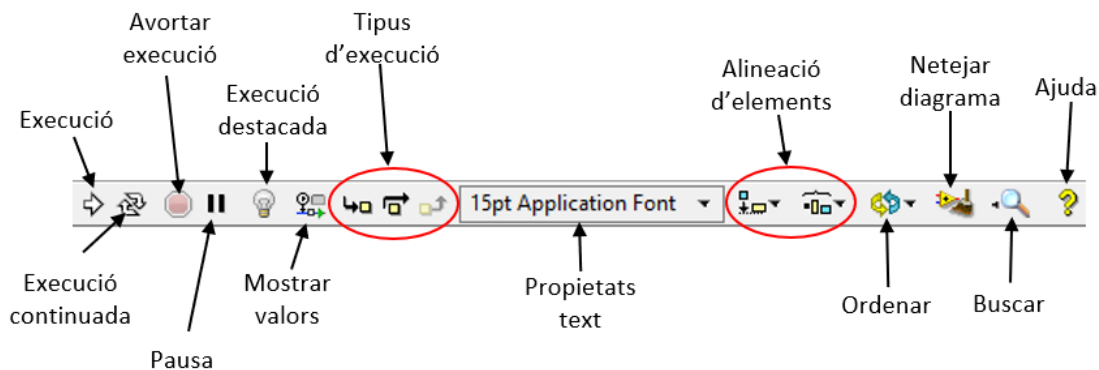


Figura 5: Barra d'eines superior del diagrama de blocs

Panel frontal

Respecte el panel frontal, a la paleta de controls, trobem diferents elements desplegable, els quals tots tenen els mateixos controls, simplement canvia l'estètica d'aquests, per si es vol un entorn més modern o més clàssic. Entre aquests controls amb els que interactuarà l'usuari trobem:

- **Numèrics:** Caixes numèriques, indicadors i controls lliscants i de nivell, indicadors i controls rotatius, barres lliscadores.
- **Booleans:** botons, indicadors i controls booleans.
- **Cadenes de caràcters:** caixes de text.
- **Vectors:** indicadors i controls de vectors i matrius
- **Llistes, taules i arbres:** Indicadors i controls de llistes, taules i arbres.
- **Gràfics:** tot tipus de gràfics i ones.
- **Anells i enumeracions:** indicadors i controls d'enumeracions i anells.
- **Contenidors:** caixes i pestanyes on ficar la informació.
- **Entrades i sortides:** indicadors i controls d'entrades i sortides.
- **Decoracions:** Tot tipus d'elements decoratius i formes geomètriques.

La barra superior del panel frontal és igual a la del diagrama de blocs, tret que presenta una funcionalitat més d'alineació d'elements i no inclou eines referents a l'execució de codi.

Programació gràfica

El mètode de programació de LabVIEW és una programació gràfica, mitjançant mòduls, estructures i elements units mitjançant cables. Aquests cables transporten les dades a través del diagrama de blocs. El color i forma dels cables, com bé es pot veure en la *Figura 6* canvia depenent el tipus de variable que hi transporta.

Si algun cable apareix amb una 'x' de color roig significa que la unió dels elements no és correcta, ja sigui perquè són de tipus de variable diferents o que no s'està connectant una sortida amb una entrada.

	Scalar	1D Array	2D Array		Cluster
Numeric				Orange (floating point)	Brown
				Blue (integer)	Brown
Boolean				Green	Pink
String				Pink	Pink
Path				Dark Green	Pink
Reference				Dark Green	Pink
Hardware Resource				Purple	Pink
Variant				Purple	Pink
Waveform				Brown	Pink
Class				Red	Pink

Figura 6: Forma i colors de les diferents variables a utilitzar en LabVIEW

El següent codi mostra un exemple de com es faria un programa que mostra cada segon un nombre aleatori del 0 al 10. Compta amb un bucle que s'executarà cada 1000ms gràcies al 'timer', un botó de parada per aturar el bucle, una variable numèrica decimal, un element que genera un nombre aleatori del 0 a l'1 i un multiplicador. Si per exemple connectem la sortida del multiplicador a un element booleà en comptes d'un element decimal, mostrarà un error i no ens deixarà executar el codi.



Figura 7: Exemple de la generació incorrecta (esquerra) i correcta (dreta) d'un nombre aleatori amb LabVIEW

4.2. Estudi teòric del sistema de processos i creació del panel frontal⁶⁷

Un cop decidit tirar endavant el treball i havent seleccionat el software amb el qual es durà a terme, és hora de decidir quin dels processos de la fàbrica, és el que s'implementarà amb LabVIEW. Seria perfecte poder implementar tots els processos d'aquesta indústria en qüestió, però l'envergadura del projecte seria molt superior i no seria possible establir-lo dins dels límits temporals als quals està subjecte, de forma que es decideix fer-ho en un procés en concret.

En aquest cas, s'ha escollit el procés de producció de pasta de paper de color blanc, mitjançant fibres recuperades, per alimentar una màquina industrial de paper. Aquest procés és per on entra la matèria primera en forma de bales de paper blanc i en surt pasta de paper del mateix color. Perquè això sigui possible, aquest paper ha de passar per certs processos que el netegin, depurin, espesseixin i el preparin per entrar a les màquines, de forma que la producció de paper compleixi amb els requisits que l'empresa promet als seus clients.

Inici del procés: Desfibració i emmagatzematge pel procés

La matèria primera que entra a aquest procés són bales de paper per a reciclar de color blanc, les quals entren mitjançant una cinta transportadora al que s'anomena "*pulper*"⁸ on amb l'addició d'aigua i un triturador rotatori desfà aquestes bales de paper. El *pulper* està connectat per una canonada a una bomba centrífuga que impulsa la pasta de paper amb un cabal de 218 L/s i una altura manomètrica de 18 m.c.a., juntament amb els diferents residus, fruit de la trituració, cap a un dipòsit en forma de torre que s'anomena "*torre del blanc*", de 250 m³.

⁶ Veure annex A5 – Plànol circuit del blanc.

⁷ Veure annex A3 – Figura A 7, A 8, A 9, A 10 i A11 per poder comparar el canvi notable del nou software en relació a l'antic sistema de control.

⁸ Recipient amb una hèlix central en la part inferior on es barregen tots els ingredients bàsics per la producció de pasta de paper.

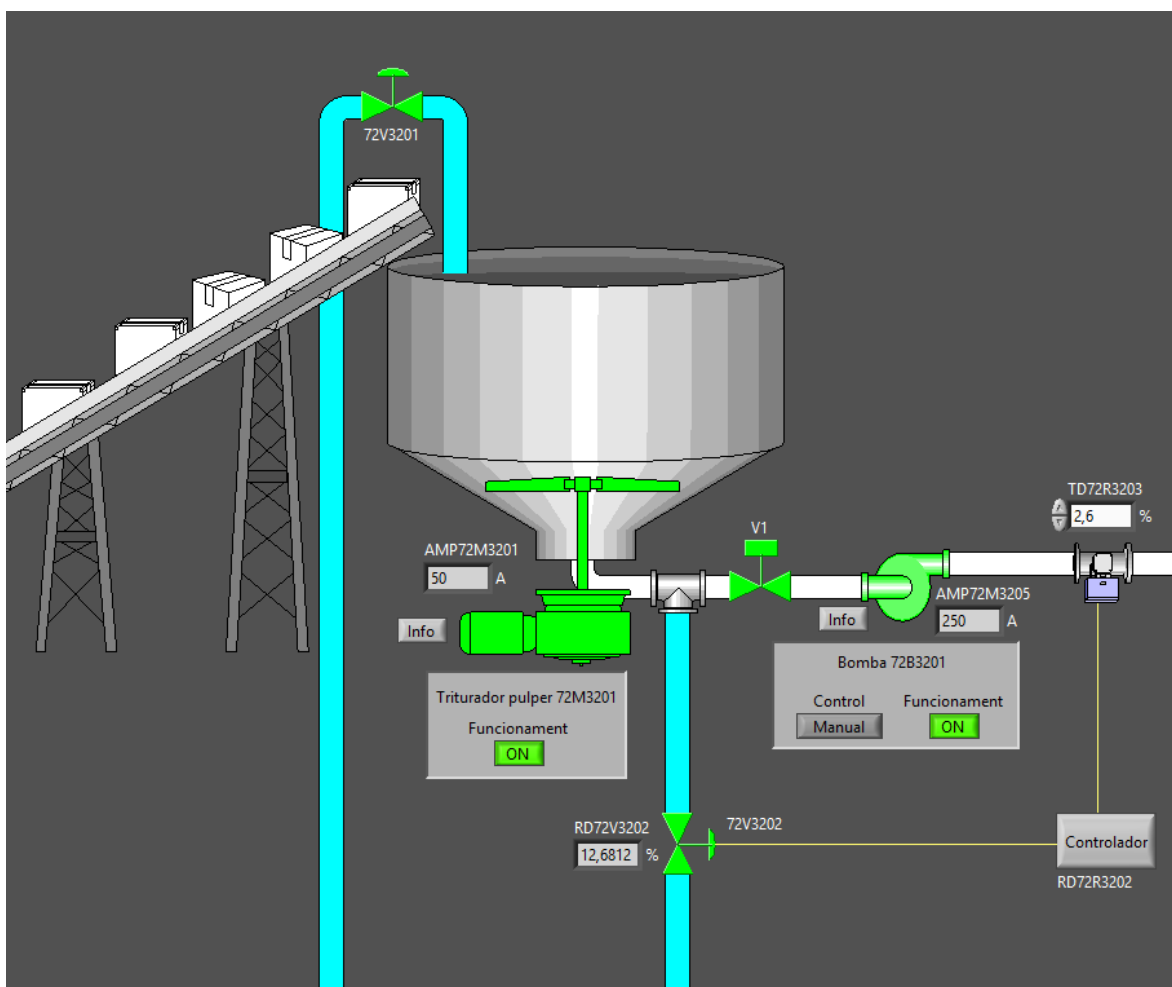


Figura 8: Inici del procés de desfibració en entorn LabVIEW

La torre del blanc és el dipòsit amb el qual s'alimentarà el circuit de filtratge, depuració i neteja de la pasta de paper. Aquesta torre disposa d'un agitador a la part inferior que remou la pasta per evitar que les diferents densitats de la pasta i l'aigua separen la mescla.

Com en el *pulper*, aquest dipòsit disposa d'una bomba que impulsa la pasta de paper per tot el que queda de circuit, aquesta proporciona un cabal de 5000 l/min i una altura manomètrica de 55 m.c.a.

Just després de la bomba, en la canonada d'impulsió, hi ha un controlador i indicador de pressió i un controlador i indicador de consistència, els quals proporcionaran informació als operadors de les variables de pressió i consistència en aquesta part del procés.

La funció d'aquests controladors és proporcionar un control automatitzat de la velocitat de la bomba, depenent la pressió de la canonada i/o el canvi del percentatge d'obertura d'una vàlvula, d'una canonada que afegirà aigua a la mescla, per tal de variar al valor desitjat la consistència de la pasta de paper.

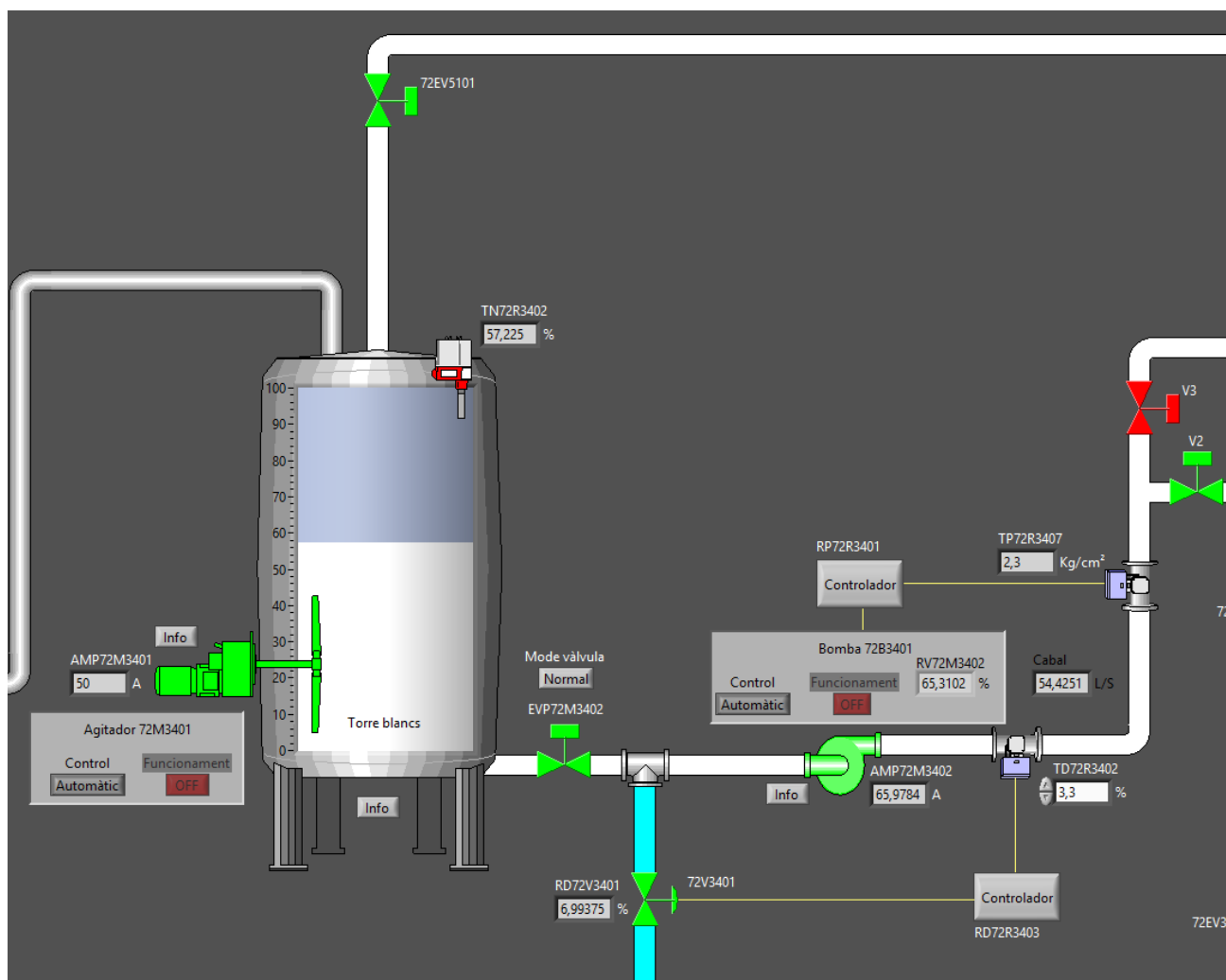


Figura 9: Emmagatzematge i impulsió en entorn LabVIEW

Primera etapa: neteja per centrifugació mitjançant un cicló.

La primera etapa de la preparació de la pasta consisteix en un cicló centrífug de mitjana consistència (aproximadament del 2,5%), el qual és l'encarregat de separar, mitjançant la força centrífuga, les partícules de la pasta que tenen una densitat diferent de la de les fibres del paper.

En aquest procés, es separa de la pasta, residus com poden ser arenes, plàstics, restes de metalls i altres impureses pesants que poden incloure les bales de matèria primera que es dipositen en el *pulper*.

És necessari separar aquestes impureses per tal de no danyar el conjunt d'equips que formaran les següents etapes del procés.

Parts del cicló centrífug:

- Cos del cicló:
 - Part cilíndrica
 - Part cònica
- Tub d'alimentació
- Tub d'acceptat
- Vàlvula d'aïllament
- Vàlvula de rebuigs
- Tub d'entrada d'aigua d'elutriació⁹
- Càmera de rebuigs

És necessari que els materials del cicló tinguin propietats anticorrosives per tal de poder ampliar la seva vida útil. Entre els materials més usats per la construcció de ciclons es troben les porcellanes, l'acer inoxidable, les resines i plàstics d'alta densitat.

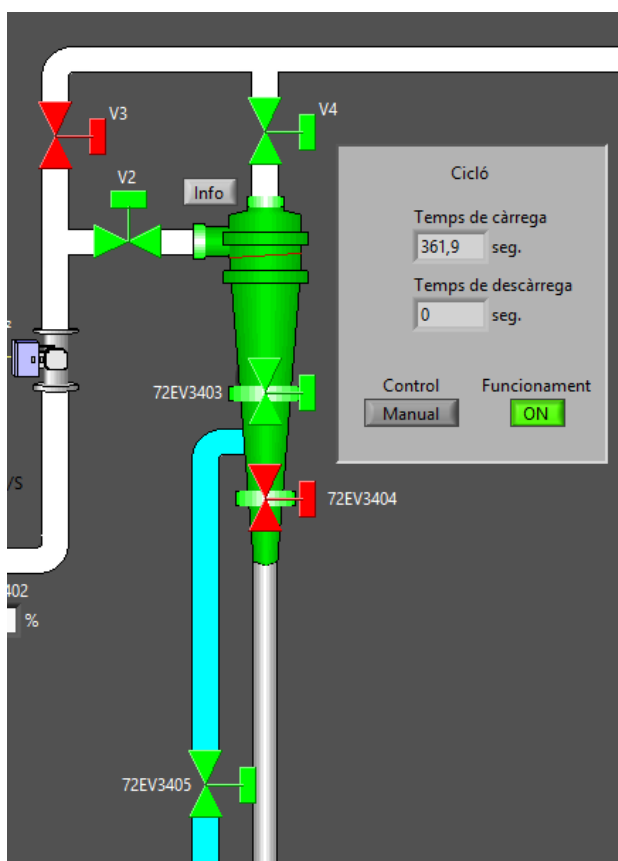


Figura 10: Cicló en entorn LabVIEW

⁹ Mètode de separació de partícules basat en la diferència de velocitat de sedimentació que pot existir entre elles, quan es troben suspeses en un fluid en moviment

El bon manteniment dels equips de neteja és indispensable, ja que un deteriorament d'aquests pot produir una baixa eficiència en la seva funció i es pot donar el cas que la pasta acceptada contingui impureses, provocant així una mala qualitat del paper produït per les màquines o fent aparèixer punts dèbils en el transcurs del paper al llarg de la màquina, que podrien ocasionar la seva ruptura i en conseqüència la parada de producció.

Segona etapa: Depuració combinada per camisa perforada (S-Screen + RejectSorter)

La següent etapa per la qual passarà la pasta de paper és un cicle combinat de depuració amb diferents equips, els quals la seva funció serà separar partícules de rebuig de la fibra de paper, en aquest cas, per la seva mida. Per aconseguir això, els diferents equips tenen unes camises foradades per les quals passarà la pasta de paper, de forma que la pasta acceptada passarà per aquests petits forats, mentre que la pasta que no passi serà considerada pasta de rebuig per l'equip en qüestió.

Aquesta etapa la formen dos equips depuradors, de forma que el rebuig del primer equip passa per la depuració del segon i el rebuig d'aquest es descarta del procés. La pasta acceptada va a una tina, anomenada tina d'acceptat i es torna a bombejar a la torre del blanc per començar tot el procés de nou.

La raó per la qual part del rebuig d'aquest procés es circula altre cop a la torre dels blancs, és perquè no solament hi ha impureses, sinó també aigua i fibra útil, de forma que s'ha d'intentar fer tot el possible per tal de recuperar i tractar altre cop aquesta aigua i fibra útil per tal d'optimitzar el procés.

- Depurador S-Screen Beloit S-24 A

El primer equip és un depurador amb un diàmetre dels forats de la camisa de 1.2 mil·límetres, accionat per un motor de 100 CV a 1450 RPM, mentre que el rotor de la camisa gira a 615 RPM. Tant en l'entrada del depurador, com en la sortida de la pasta acceptada, hi ha un transmissor de pressió,

amb aquests dos transmissors es farà el càlcul per obtenir la pressió diferencial del depurador, que es mostrarà amb un indicador.

Aquest depurador, també té connectat una canonada d'aigua per tal que la depuració sigui més eficient. Finalment sortirà una altra canonada amb un rebuig el qual s'ha d'extreure del procés, ja que no es pot reaprofitar.

En quant la sortida de la pasta rebutjada, abans d'arribar al següent equip, passa per un transmissor de cabal, què, mitjançant un controlador regula l'obertura d'una vàlvula que permetrà regular el cabal d'entrada al següent equip en un rang del 0% al 100% d'obertura de vàlvula. Aquest transmissor de cabal, juntament amb una constant de proporcionalitat que introduirà l'operari i amb un altre transmissor de cabal d'una canonada d'aigua, regularà mitjançant un altre controlador el cabal d'aigua que s'afegeix a la pasta abans d'entrar al següent equip.

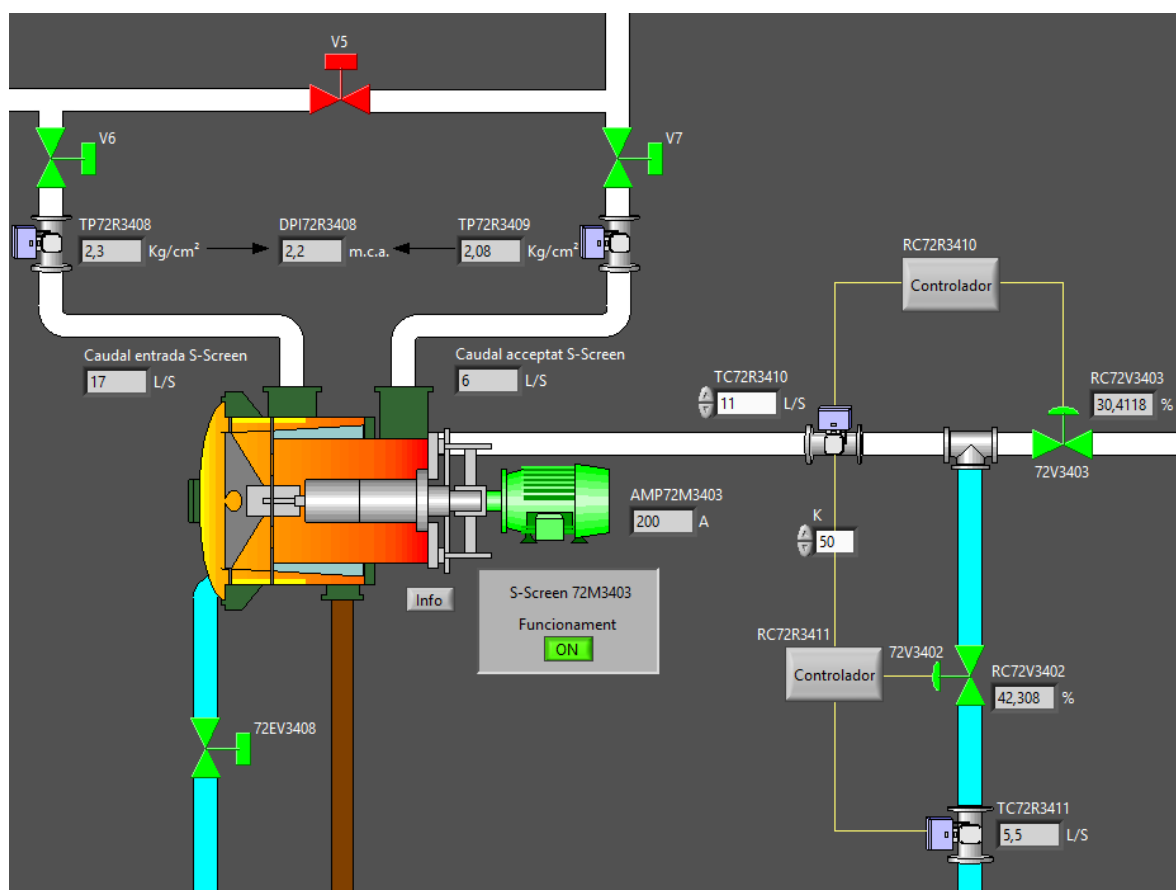


Figura 11: Depurador S-Screen i el seu circuit de rebuig en entorn LabVIEW

- *Depurador Rejectsorter RS2B*

Aquest equip rep la pasta de paper del rebuig del S-Screen per fer l'última depuració d'aquesta etapa. Està format per un tambor horitzontal amb una camisa foradada de 2.2 mil·límetres on entra la pasta de paper i és barrejada amb aigua provinent d'unes regadores situades a la part superior. L'acciona un motor de 75 CV a 1500 RPM.

La pasta va passant pel llarg de tot el tambor i es van depurant les fibres, de forma que al final del tambor sol quedarà el rebuig, el qual es dipositarà a la cinta de transport pel seu posterior tractament.

La pasta acceptada per aquest últim depurador passa a la tina d'acceptat, la qual té una capacitat de 5m³ i és bombejada a la torre dels blancs mitjançant una bomba que proporciona un cabal de 1400 l/min i una pressió de 22 m.c.a. la tina d'acceptat té un transmissor i indicador de nivell que mitjançant un controlador regula la velocitat de la bomba.

Tercera etapa: Depuració combinada per camisa ranurada (MultiSorter+MiniSorter)

Aquesta última etapa de neteja la conforma un altre cicle de combinació combinat per dos depuradors, però aquest cop no separen les fibres de paper del rebuig mitjançant una camisa foradada, aquest cop aquesta camisa té un seguit de ranures que solament permetran el pas de les fibres de paper de les característiques que interessin en els processos posteriors.

Aquesta fase comença amb l'acceptat del depurador S-Screen de l'etapa anterior i pot acabar, o bé en els espessidors per tal de preparar la pasta per enviar a la sala de màquines o bé tornant-la a circular a la torre dels blancs altre cop per tornar a començar tot el procés.

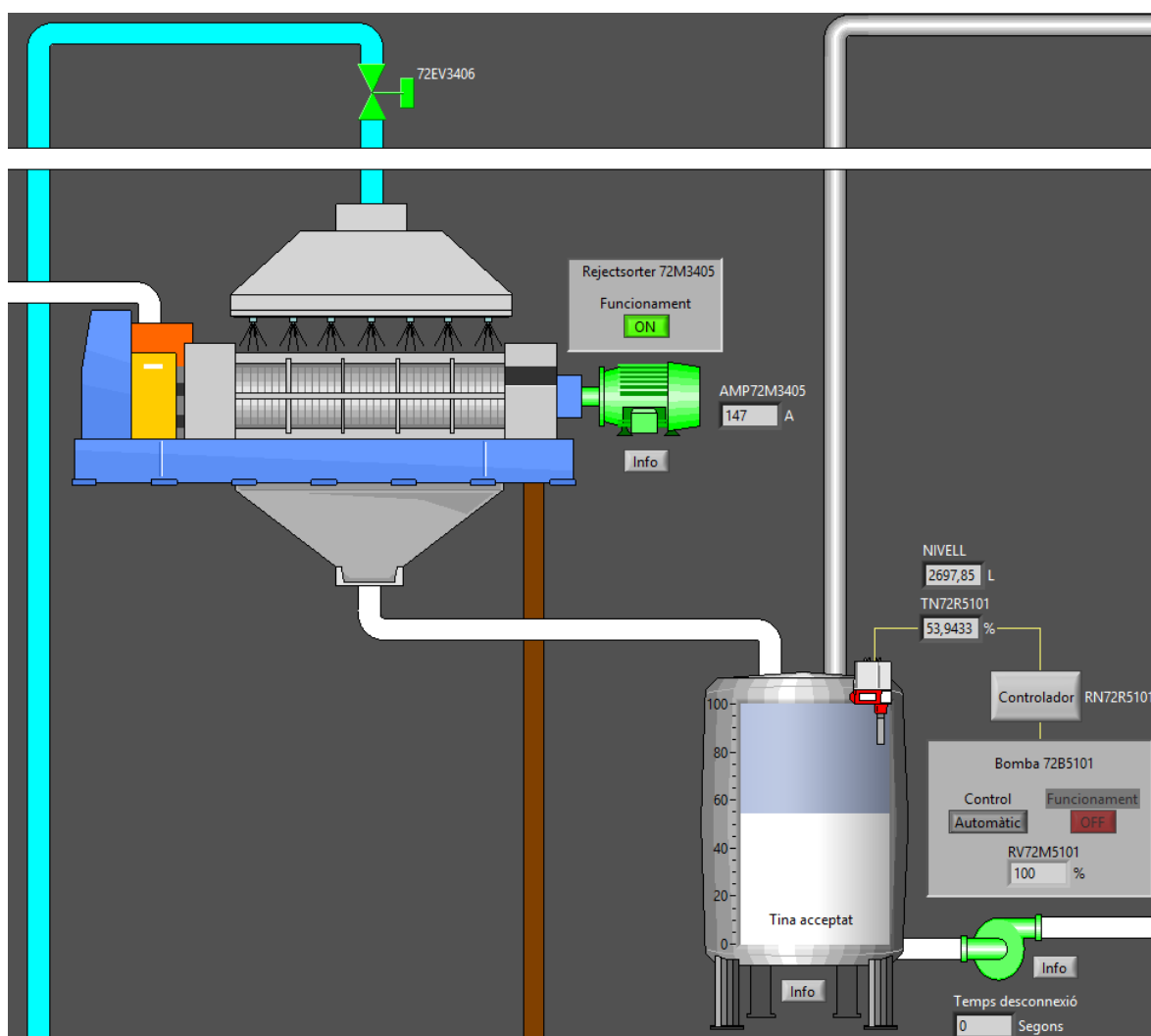


Figura 12: Depurador RejectSorter i el seu circuit de rebuig en entorn LabVIEW

- Depurador MultiSorter MSM-08/05-3.SR

En aquest depurador comença el procés d'aquesta etapa i s'alimenta de l'acceptat del S-Screen. Aquest equip fa passar la pasta pel seu tambor rotatori ranurat amb fissures de 0.2 mil·límetres que gira a 470 RPM gràcies a un motor de 80 CV a 1470 RPM. Hi ha una canonada d'aigua connectada a l'equip per tal de facilitar la depuració. L'acceptat d'aquest equip es dirigeix directament a tres espessidors que conformen el final d'aquest procés de preparació de pasta.

Tant en la canonada d'entrada, com en la canonada d'acceptat d'aquest depurador, hi ha també transmissors de pressió, que mostraran en els pertinents indicadors, la pressió en l'entrada, la pressió en l'acceptat i la pressió diferencial.

Quant a la canonada de rebuig, hi ha el mateix conjunt de controladors i transmissors que en el S-Screen, els quals regulen el cabal d'aquest rebuig que entra en la tina rebuig i controlen l'aigua que s'afegeix a la pasta seguint una constant de proporcionalitat.

La tina rebuig és un dipòsit de 3m³, el qual alimentarà el següent depurador de l'etapa mitjançant una bomba centrífuga amb una capacitat de 1300 l/min i una altura manomètrica de 26 m.c.a.

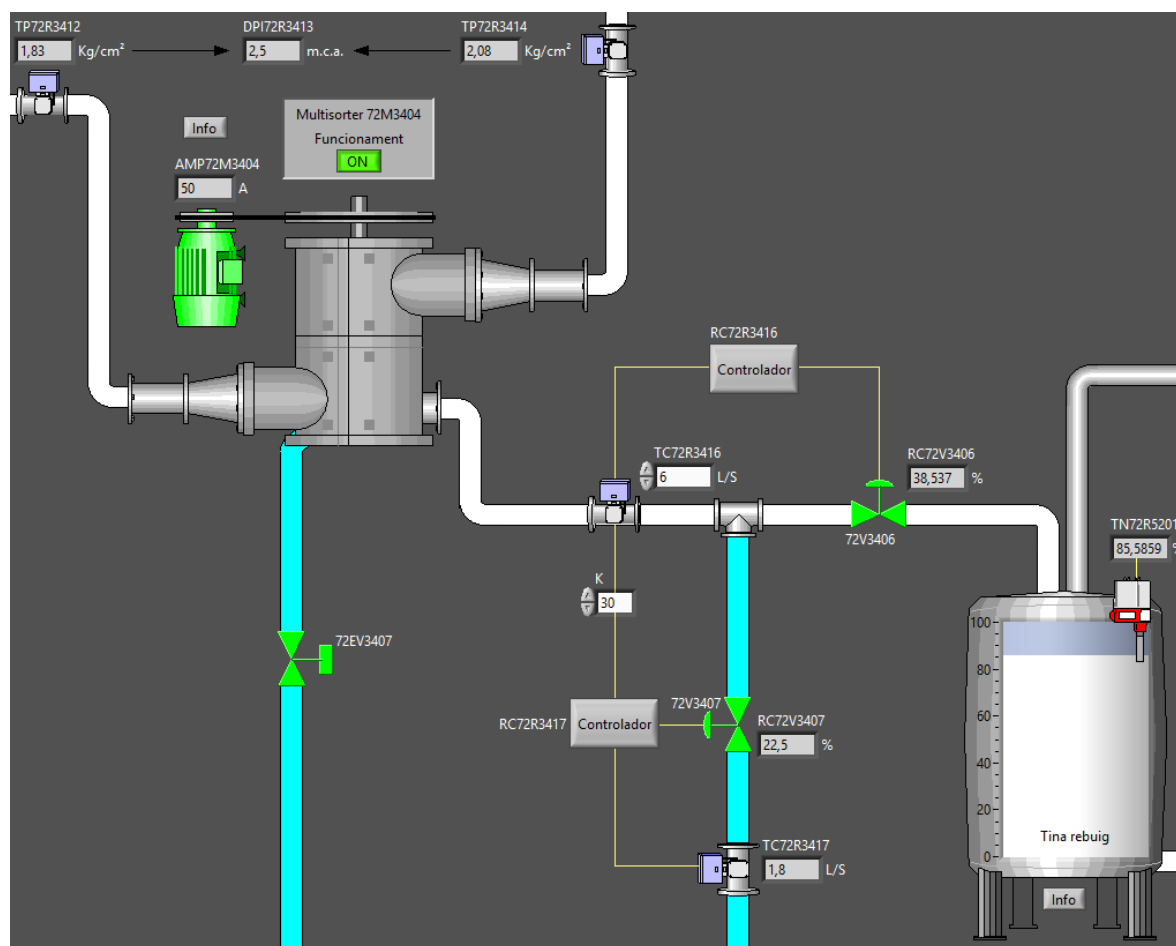


Figura 13: Depurador MultiSorter i el seu circuit de rebuig en entorn LabVIEW

- Depurador MiniSorter MST-05/05 WR-2.SR

Finalment aquest depurador és l'encarregat de separar del rebuig del MultiSorter, tot allò que encara es pot reaprofitar, circulant-ho altre cop a la torre dels blancs, mentre que el rebuig d'aquest depurador és conduït a la cinta dels residus, ja que no té propietats les quals es puguin aprofitar en el procés.

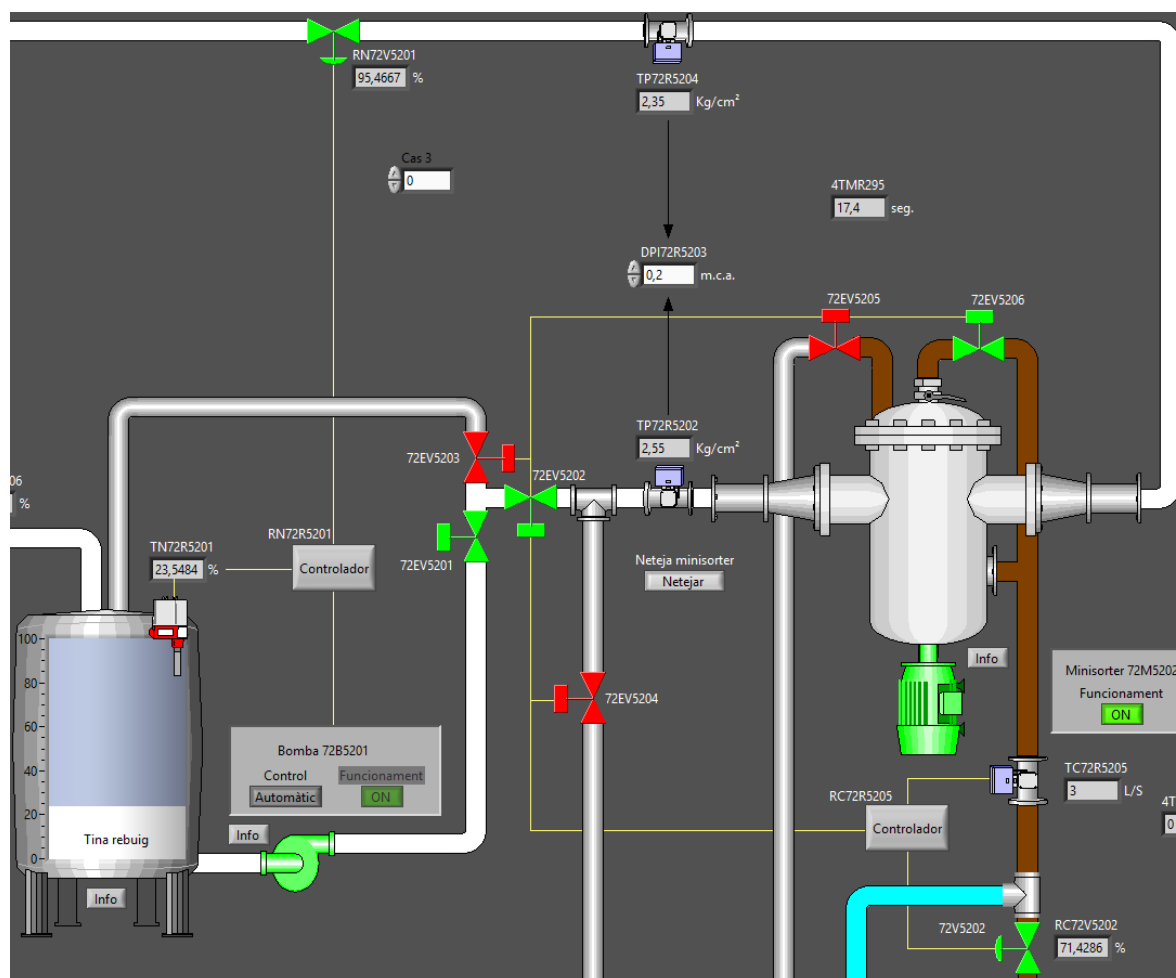


Figura 14: Depurador MiniSorter i el seu circuit de rebuig en entorn LabVIEW

També disposa de transmissors de pressió, tant en l'entrada com en la sortida de l'acceptat, per tal d'indicar la pressió en cada moment a les respectives canonades i la pressió diferencial d'aquestes.

Aquest depurador disposa d'una etapa de neteja temporitzada i un controlador i indicador de cabal en la sortida del rebuig, que regularà una vàlvula del 0% al 100% d'obertura en aquesta canonada i tancarà o obrirà diferents vàlvules en l'entrada. La canonada de rebuig també disposa d'una addició d'aigua per tal de facilitar l'expulsió del material rebutjat.

Quarta etapa: Espessit i emmagatzematge

Finalment la pasta de paper està quasi preparada per alimentar les màquines de paper, el problema que l'hi queda és que té una alta concentració d'aigua que donaria problemes en la producció, ja que les màquines necessiten uns determinats valors de consistència per funcionar eficientment.

Per tal de separar part d'aquesta aigua, al final del procés hi ha 3 espessidors, pels quals la pasta hi passarà per espessir-se. Poden funcionar els 3 simultàniament o activar i desactivar-ne els necessaris depenent la demanda de paper de les màquines. Un cop entra la pasta a l'espessidor, aquesta es remou i se'n separa part de l'aigua, la qual es circula i s'emmagatzema en el tanc d'aigua dels blancs.

La pasta de paper que surt de l'espessidor, en alta consistència s'emmagatzema en la tina de fibra llarga, de 100 m³ on ja està preparada per enviar-se a la sala de màquines per passar el procés de refinació i posteriorment alimentar les màquines de paper. Aquesta tina té un controlador i indicador de nivell el qual ens regularà el cabal d'entrada en els espessidors, com s'ha dit abans, depenent la demanda de les màquines de paper, que es veurà influenciada en el nivell d'aquesta tina.

Circuit auxiliar: Aigua clarificada i aigua blancs

Quasi en cada equip o durant diferents moments del procés s'ha puntualitzat que s'afegeix aigua, ja sigui per netejar, millorar l'eficiència d'algun equip, desfer el paper en el *pulper*, etc.

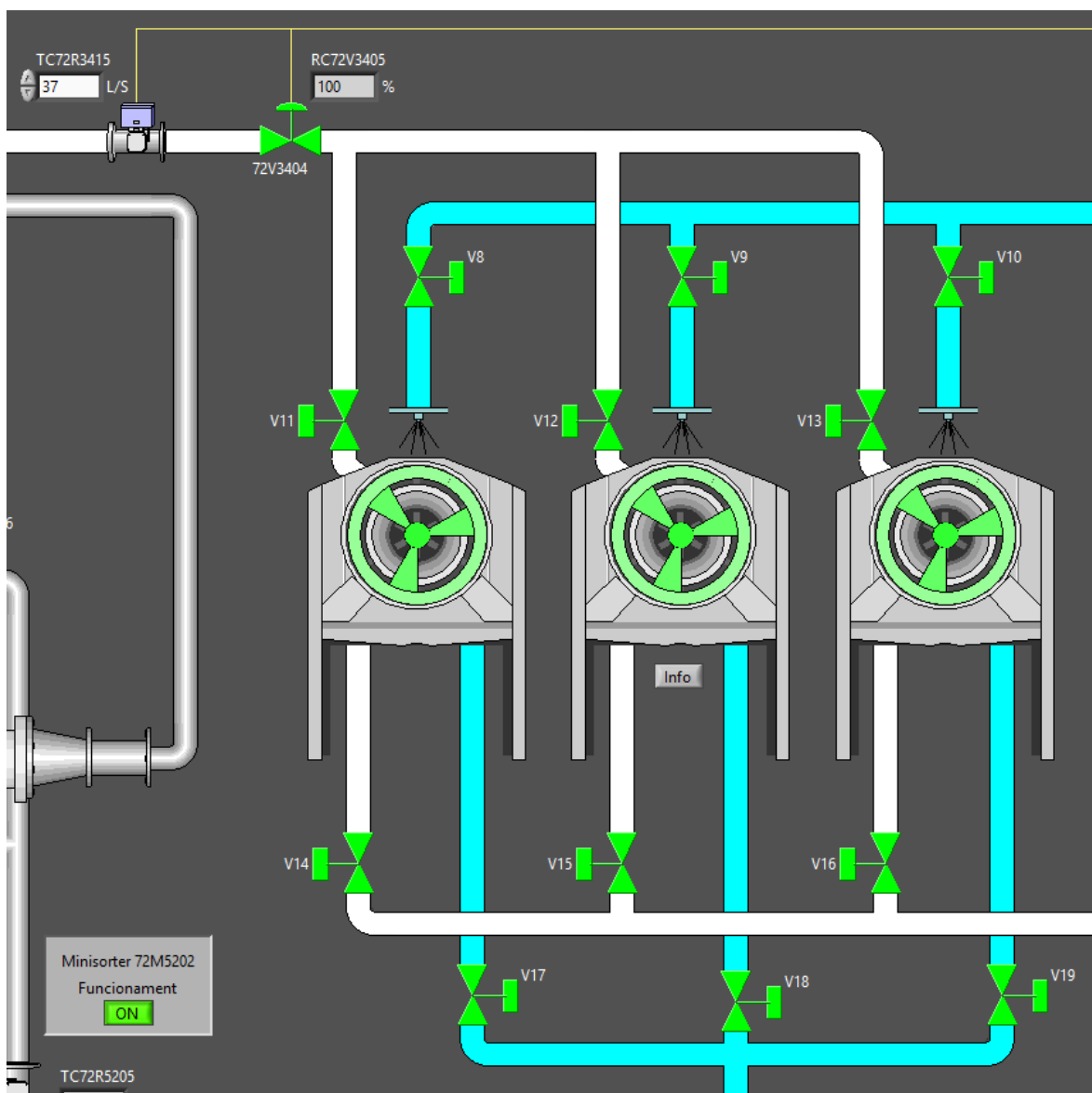


Figura 15: Espessidors 1, 2 i 3 en entorn LabVIEW

Aquesta aigua pot ser aigua clarificada, la qual ve directament del clarificador present en la depuradora d'aigües de la indústria o pot ser aigua dels blancs, que ve del tanc d'aigua dels blancs.

El tanc d'aigua dels blancs, en aquest cas, s'aprovisiona directament d'aigua d'un canal, de l'aigua extreta en els espessidors i de l'aigua del procés de refinament. L'aigua del canal entra per una vàlvula, on la seva obertura depèn del nivell d'aquest tanc.

L'aprovisionament de l'aigua dels blancs es fa mitjançant 3 bombes, una que anirà al *pulper*, una destinada a la neteja del MiniSorter i una per l'afegit d'aigua en equips i canonades.

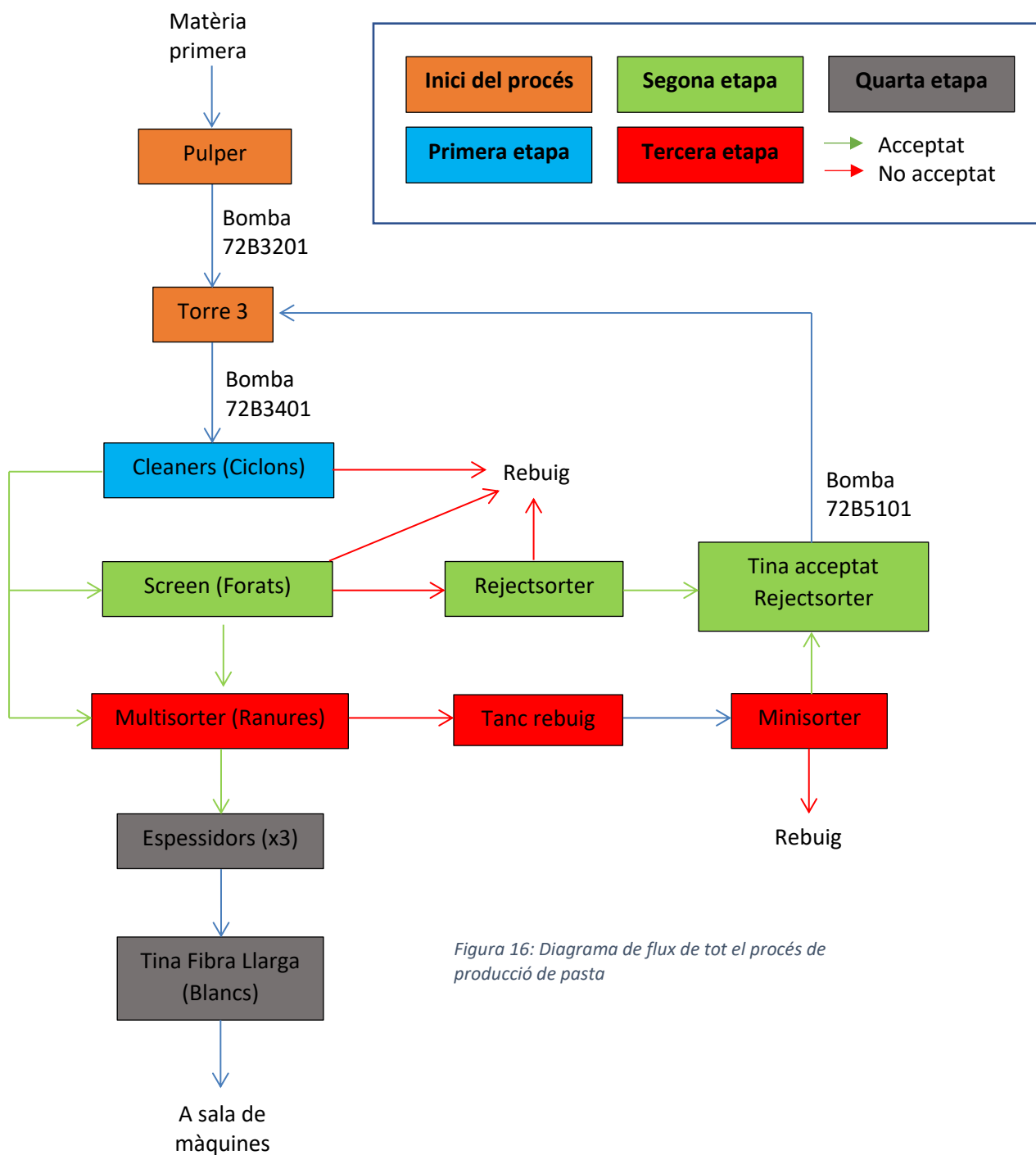


Figura 16: Diagrama de flux de tot el procés de producció de pasta

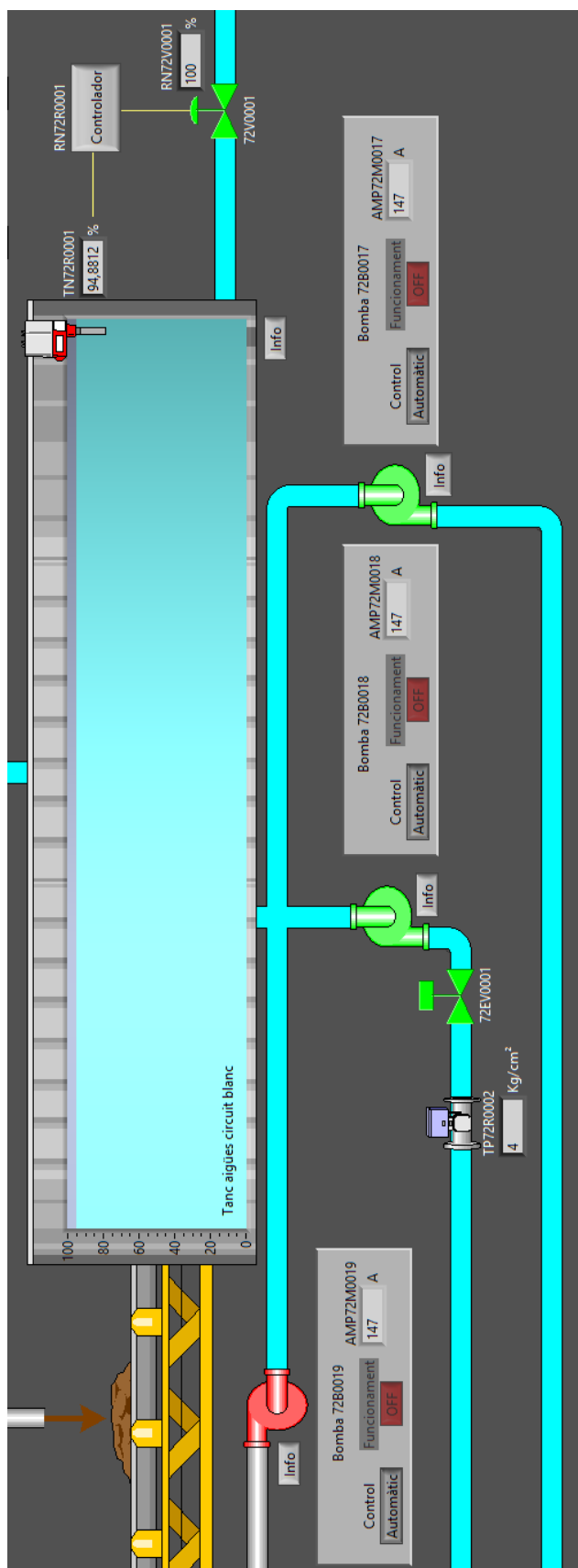


Figura 17: Tanc aigües circuit del blanc en entorn LabVIEW

4.3. Estudi lògic del sistema de processos i creació del diagrama de blocs

Nomenclatura¹⁰

Per tal de mantenir un control dels equipaments i poder saber de quin equip estem parlant, ja sigui quan forma part del procés o bé estigui en el taller en manteniment, s'aplica un codi de diferents dígits que serà l'identificador de cada equip, transmissor, regulador o element informatiu del procés. Per altra banda, serà necessari tenir una base de dades amb la informació de cada element per saber quin identificador l'hi correspon i d'aquesta forma tenir tota la informació d'interès de cada dispositiu.

Equips

La nomenclatura dels diferents equips consta d'un nombre de 7, 8 o 9 dígits com es pot veure en la *Figura 18*. Aquests dígits són 2 números en les primeres posicions els quals ens donaran informació sobre la ubicació de l'equip. En el cas del procés en qüestió tots tenen el 72, ja que aquest nombre fa referència a la zona de 'preparació de pastes'. El següent dígit és una lletra, la qual pot ser, una 'M', que farà referència a un motor, una 'B', que serà una bomba o una 'V', 'EV' o 'EVP' per a les vàlvules i electrovàlvules. Els 2 dígits posteriors donaran informació sobre el *pulper*, la tina o dipòsit on començarà el subcircuit d'on formarà part l'equip. Finalment els 2 últims dígits seran la numeració en ordre dels diferents elements.

72B5101	-->	<u>72</u> <u>B</u> <u>51</u> <u>01</u>
72:		Zona de preparació de pastes
B:		Bomba
51:		Tina acceptat
01:		Primer equip

Figura 18: Nomenclatura bomba tina acceptat

¹⁰ Aquesta nomenclatura és la mateixa que es fa servir en l'empresa. En l'annex A1 es pot veure la nomenclatura de tots els elements del sistema de control seguits de l'equip al que pertanyen

Transmissors i reguladors

Quant als transmissors i reguladors aquesta nomenclatura és una mica diferent. Per aquests elements s'utilitza el mateix codi anteriorment descrit per als 7 últims dígit, aquest cop la lletra serà una 'R' per tots els elements, menys les vàlvules, que tindran la lletra 'V' o 'EV'. L'altra diferència és que s'introdueixen dos dígit més al principi, el primer serà una 'T' si és un transmissor o una 'R' si es parla d'un regulador. Finalment la segona lletra serà la variable de la qual es transmetrà dades o se'n regularà el valor, essent les lletres 'N' per nivell, 'V' velocitat, 'C' cabal, 'D' densitat o consistència i 'P' pressió.

TP72R5202 --> **TP 72 R 52 02**

TP: Transmissor de pressió
72: Zona de preparació de pastes
R: Transmissor/regulador
52: Tina rebuig
02: Segon element

Figura 19: Nomenclatura segon transmissor de pressió del circuit de la tina rebuig

Elements informatius

També hi ha diferents elements que són de caràcter informatiu. Aquests elements tenen 10 dígit, els 7 últims són igual que els que hem descrit anteriorment, mentre que els 3 primers ens diran de què ens proporcionen informació, en aquest procés trobem dos casos, 'AMP' el qual ens proporcionarà informació referent al motor dels 7 dígit següents i 'DPI' el qual fa referencia a un indicador de pressió diferencial.

AMP72M3404 --> **AMP 72 M 34 04**

AMP: Amperímetre
72: Zona de preparació de pastes
M: Motor
34: Torre blancs
04: Quart element

Figura 20: Informació ampers del quart motor del circuit de la torre dels blancs

Controladors PID¹¹

Els reguladors que s'utilitzen en aquest procés són controladors PID amb un guany no lineal. Es mantindrà la configuració de tots els controladors igual que en l'anterior software, ja que és la configuració més eficient.

L'equació de control del PID serà la següent:

$$OUT = GAIN \cdot ((Proportional Term) + (Reset Term) + (Derivative Term))$$

La qual també es pot escriure de la forma següent en el domini de Laplace:

$$OUT_s = KC \cdot f(\beta) \cdot \left(KP + \frac{1}{TR} + \frac{1}{s} + TD \left(\frac{s\alpha}{\alpha + s} \right) \right) \cdot E(s)$$

On:

α	Guany derivatiu (Per defecte $\alpha=8$)
$f(\beta)$	Factor no lineal
$E(s)$	$PV(s) - SP(s)$
KC	Guany
KP	Guany proporcional
$PV(s)$	Variable del procés
$SP(s)$	Setpoint
s	Operador de Laplace
TD	Temps derivatiu
TR	Temps de reinici

¹¹ Per a més informació referent als controladors del procés, aquesta es pot trobar en el "DCU3200 Configuration reference manual" de ABB, concretament en l'apartat "10.0 CON Module".

Lògica del procés¹²

Inici del procés: Desfibració i emmagatzematge pel procés

72M3201 – Triturador pulper

El triturador del *pulper* s'acciona mitjançant el motor 72M3201, si el triturador està funcionant, automàticament s'activa la vàlvula V1 per deixar pas a la pasta que cau per les reixes del *pulper* fins a arribar a la bomba 72B3201.

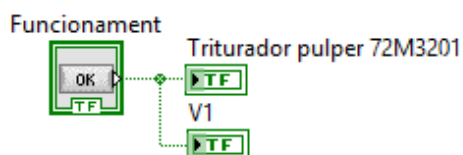


Figura 21: Diagrama bàsic de l'accionament del triturador del pulper mitjançant el botó de funcionament

72B3201 – Bomba pulper

Aquesta bomba és l'encarregada d'omplir la torre dels blancs, el dipòsit amb més capacitat del circuit. En mode automàtic, la bomba engegarà quan el nivell de la torre dels blancs baixi del 20% de capacitat, mentre que es parará quan arribi al 95%, amb això s'hi ha de sumar que la vàlvula V1 estigui oberta per poder donar pas de pasta des del *pulper*. En mode manual, serà suficient què, la torre dels blancs estigui per sota del 95% i el botó de funcionament de la bomba estigui pres.

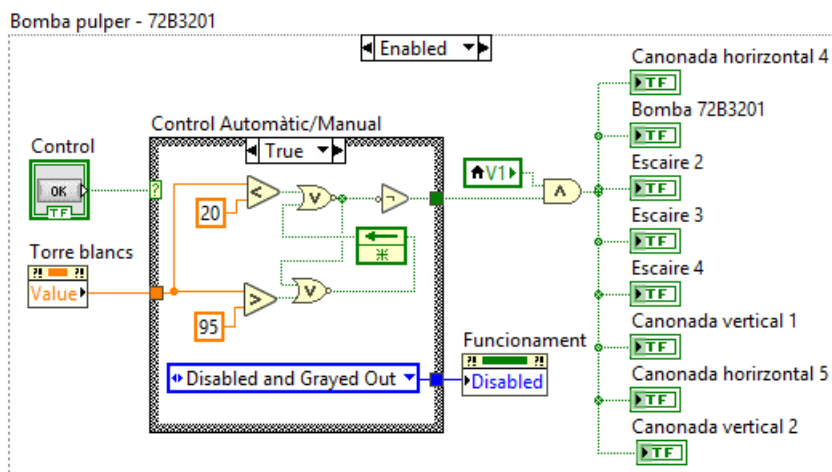


Figura 22: Lògica bomba pulper

¹² Veure annex A4 per poder comprovar la millor esquematització de la lògica del procés en comparació amb la de l'antic software.

RD72R3201 – Controlador regulador de densitat

Després de ser bombejada per la bomba 72B3201, la pasta passa per un transmissor de consistència o densitat, que dóna informació al software sobre aquest paràmetre. Depenent quins valors de consistència es té, el controlador RD72R3202 envia una senyal de control a la vàlvula 72V3202 perquè aquesta canviï el percentatge d'obertura, afegint així aigua a la pasta per tal que la consistència varïi per apropar-se al valor definit com a 'Set Point' (SP) en el controlador. Aquest regulador sol funcionar si la bomba 72B3201 i el triturador 72M3201 estan en marxa

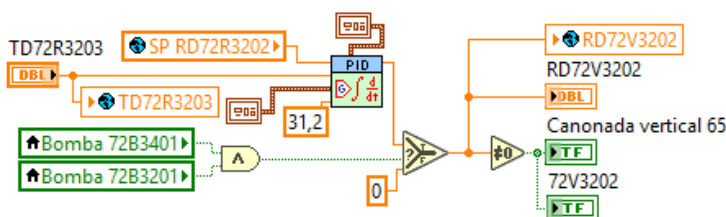


Figura 23: Lògica RD72R3201

72M3401 – Agitador torre blancs

El motor de l'agitador, en mode automàtic, s'activa quan el nivell de la torre dels blancs és superior al 30%, mentre que s'apaga quan el nivell baixa per sota del 20%. Aquesta configuració és per evitar que les aspes piquin amb la mescla podent ocasionar la seva ruptura. Si se selecciona el mode manual, simplement s'activarà o s'apagarà depenent l'estat del botó funcionament sense cap altra restricció.

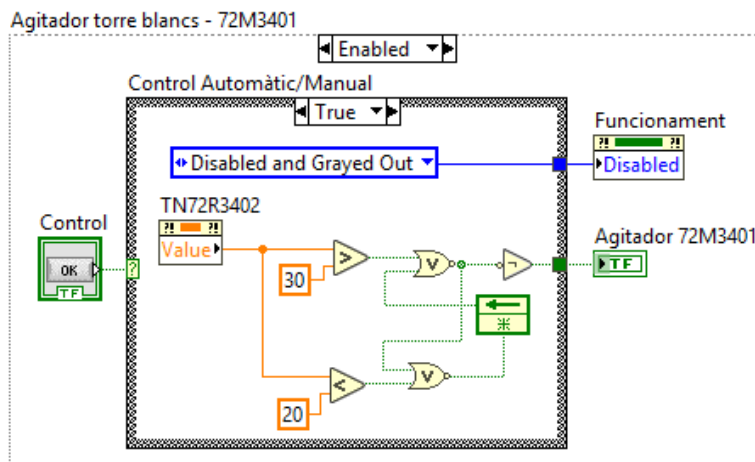


Figura 24: Lògica 72M3401

Primera etapa: neteja per centrifugació mitjançant un cicló.

72B3401 – Bomba torre blancs

Un requisit obligatori pel funcionament d'aquesta bomba, tant en mode manual com obligatori és que l'electrovàlvula EVP72M3402 estigui activada i el nivell de la torre dels blancs estigui igual o per damunt del 5% de la capacitat total. Un cop això es compleixi, en mode manual la bomba s'activarà si el botó de funcionament i el MultiSorter estan activats.

Pel que fa al mode automàtic, la bomba s'activarà si es compleixen les restriccions anteriors, però a més a més s'han de complir un seguit de factor que afectarien en el funcionament d'aquest equip:

- La pressió diferencial del S-Screen (DPI72R3408) i del MultiSorter (DPI72R3413) no pot superar els 5 m.c.a. durant 5 segons.
- El nivell de la tina de fibra llarga (TN72R4701) i el nivell de la tina rebuig (TN72R5201) no pot ser superior al 90% durant 20 segons.
- La pressió en la sortida de la bomba 72B0018 (TP72R0002) no pot ser inferior a 3 durant més de 5 segons

Si es compleix qualsevol d'aquestes situacions, es parará la bomba i es mostrarà un missatge d'error. També es parará si el motor del S-Screen o el multisorter no estan activats.

Neteja bomba 72B3401

La bomba de la torre dels blancs, compta amb la possibilitat de ser netejada mitjançant un botó que permet canviar el mode de la vàlvula EVP72M3402, ja que si està en mode de neteja, la tanca completament i s'obra la vàlvula 72V3401 al 100% per permetre el pas d'aigua cap a la bomba. Si la bomba està en neteja, aquesta s'atura.

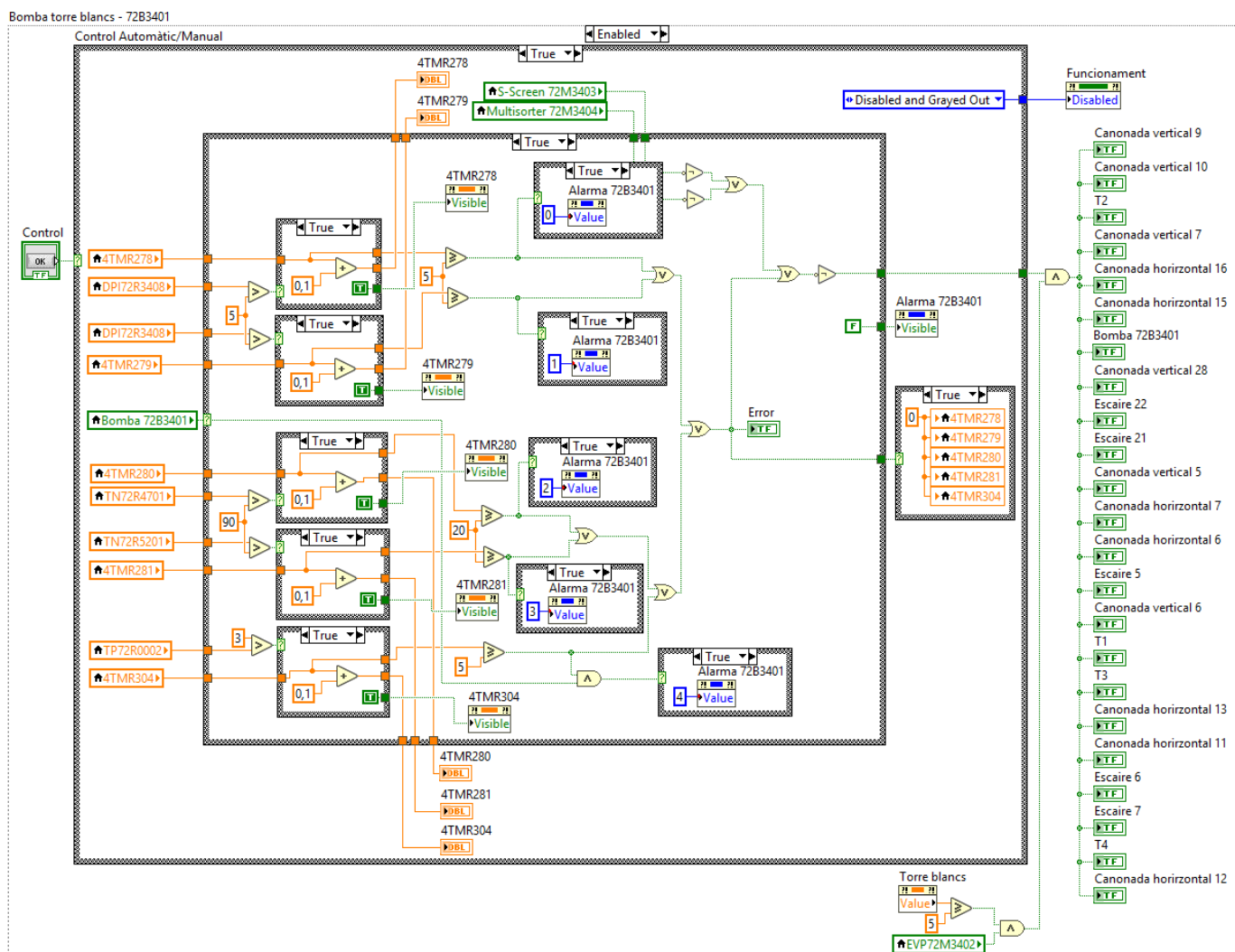


Figura 25: Lògica 72B3401

RP72R3401 – Controlador regulador de pressió

La bomba de la torre dels blancs, un cop en funcionament, compta amb un controlador PID que controla la pressió de la canonada d'impulsió. Aquest controlador, depenent les dades de pressió que rep, varia la velocitat de la bomba 72B3401, per tal d'intentar assolir el 'Set Point' (SP) que s'ha configurat. La variació de la velocitat va del 0% al 100%, proporcionant un cabal de 83.33 L/S amb una velocitat del 100%, equivalent a 1600RPM del motor.

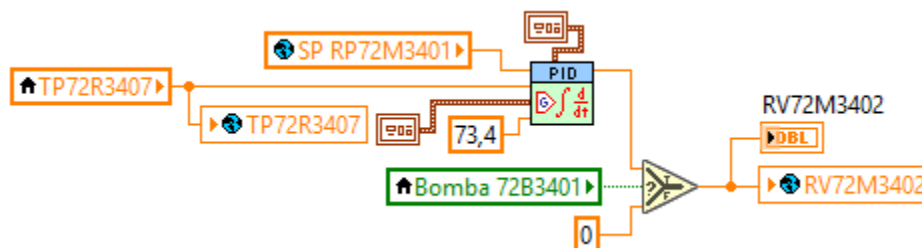


Figura 26: Lògica RP72R3401

RD72R3403 – Controlador regulador de densitat

Aquest controlador funciona amb el mateix principi que el regulador de densitat de la sortida del *pulper*, però aquest cop serveix per regular la densitat en la sortida de la pasta en la torre dels blans, i ja preparar la pasta perquè tingui les propietats adients perquè els equips del procés treballin de forma òptima. En aquest cas el transmissor de consistència és el TD72R3402 i la vàlvula a regular la 72V3401. Aquesta vàlvula, com s'ha comentat anteriorment, també és l'encarregada de fer la neteja, de forma que tindrà una obertura del 100% si s'ha activat.

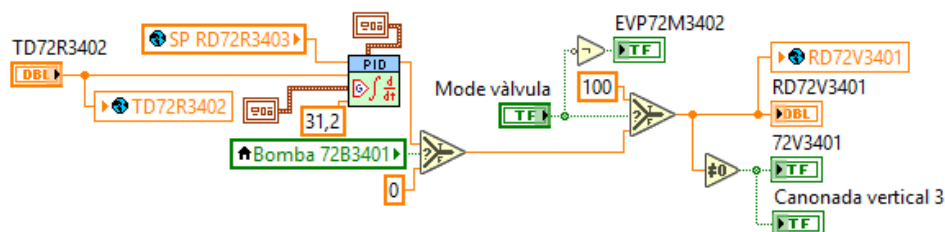


Figura 27: Lògica RD72R3403

Cicló blancs

Primer que tot, el cicló marcarà un error si està funcionant i les seves dues vàlvules internes, encarregades d'emmagatzemar el rebuig, estan en el mateix estat, ja que si això passa, el cicló no podrà treballar, perquè si una està oberta, l'altra ha d'estar tancada. El missatge d'error a mostrar serà: 'Defecte en el cicló'.

L'obertura i tancament d'aquestes vàlvules dóna lloc al procés de neteja, el qual comença deixant oberta la vàlvula superior del cicló, la 72EV3403, mentre que tanca la inferior, 72EV3404, això en un període de 600 segons, que serà el temps que tardarà el cicló a omplir el compartiment de rebuig.

Transcorregut aquest temps, s'intercanviaran el valor de les dues vàlvules, tancant la 72EV3403 i obrint la 72EV3404, durant 30 segons, de forma que es buidarà el compartiment de rebuig per tornar a començar.

Respecte al control del cicló, si aquest està en mode automàtic, solament serà necessari que la bomba 72B3401 estigui activada perquè també s'activi, en cas contrari es mantindrà apagat. Per altra banda, si està en mode manual, perquè s'activi, serà necessari que s'hagi pres el botó de funcionament i no estigui en el temps de rentada, mentre que es parará si el botó de funcionament es troba en 'OFF' o s'està dins del temps de rentada (72EV3403 – ON, 72EV3404 - OFF).

Si el cicló està en funcionament, s'activarà també la vàlvula 72EV3405, que permetrà el pas d'aigua al compartiment de neteja per tal de facilitar l'expulsió del material de rebuig.

El cicló té tres vàlvules lligades al seu funcionament, V2, en la canonada d'entrada, V3, per desviar el flux fora del cicló i V4, en la canonada de sortida. Si el cicló està activat V2 i V4 es mantindran activades, mentre que V3 romandrà tancada, d'aquesta forma s'assegura que el fluid passi per dins del cicló. Si l'equip està desactivat, s'invertiran els estats de la vàlvules essent V2:OFF, V3:ON, V4:OFF, d'aquesta forma el flux de pasta no passarà pel cicló i anirà directament al següent aparell.

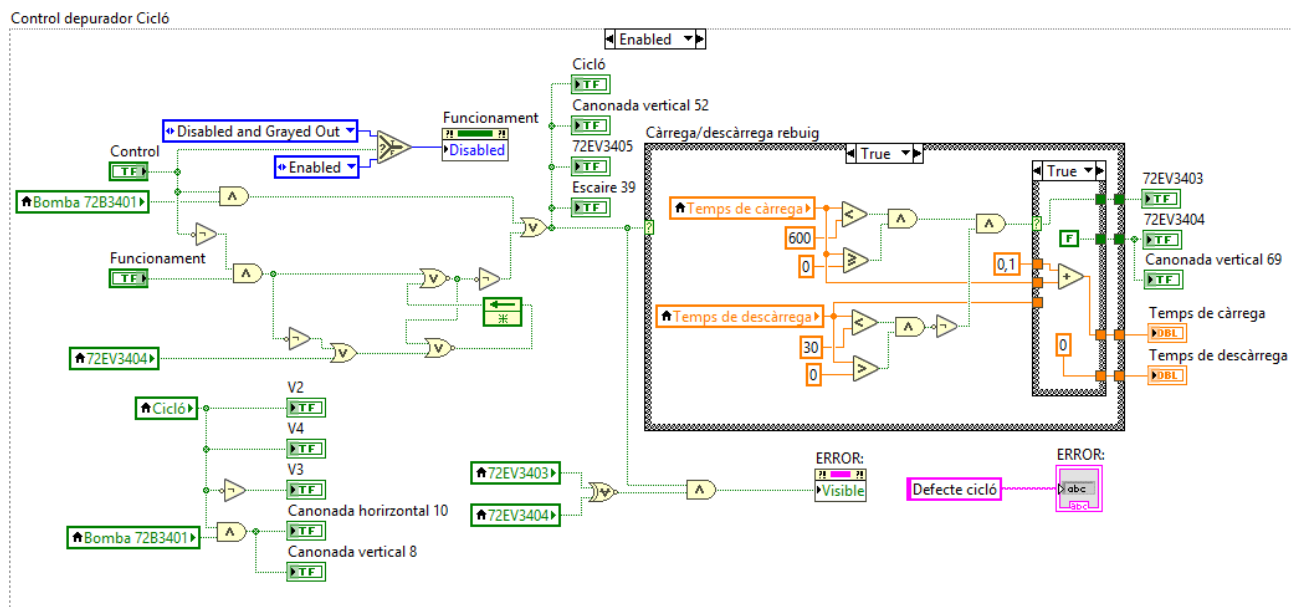


Figura 28: Lògica cicló

Segona etapa: Depuració combinada per camisa perforada (Screen+RejectSorter)

Depurador S-Screen Beloit S-24 A

Tot just sortir del cicló, la pasta de paper va a parar al depurador S-Screen Beloit S-24 A. Aquest depurador, té un conjunt de vàlvules, tant a l'entrada com a la sortida, que s'obren o es tanquen per deixar passar la pasta dins del depurador en cas que aquest funcioni normalment, o desviar la pasta cap al pròxim equip. Aquestes vàlvules són V5, V6 i V7, essent la posició de normal funcionament: V5=OFF, V6=ON, V7=ON.

Just després de les vàlvules de pas, el depurador compta amb dos indicadors de pressió, un a l'entrada i l'altre a la sortida, que juntament amb un indicador de pressió diferencial, ens mostrarà informació referent a aquest paràmetre un cop estigui funcionant.

El depurador també té una canonada d'aigua destinada a facilitar la separació de fibres i l'expulsió del rebuig que aprovisionarà l'aparell amb l'obertura de la vàlvula 72EV3408 quan aquest estigui en normal funcionament.

Perquè el depurador impulsi pasta de paper a la resta del circuit, és indispensable que la bomba 72B3401 estigui activada, la tina d'acceptat del RejectSorter per sota del 90% de capacitat i el botó de funcionament estigui en 'ON'. El Screen podrà funcionar sense l'activació de la bomba, però llavors no impulsarà pasta.

A mode informatiu, aquest equip disposa de dues etiquetes que mostraran el caudal de pasta en l'entrada i en la sortida del depurador, de forma que el caudal de sortida quedarà establert per la suma dels caudals que surten del següent equip (TC72R3415+TC72R3416), que a la mateixa vegada són els que hi entren sortint del Screen. Per altra banda, el caudal d'entrada es calcularà amb la xifra obtinguda amb l'operació anterior sumada amb la dada del transmissor de caudal del rebuig aprofitable del Screen. Com bé s'ha comentat anteriorment, aquests caudals seran 0 si la bomba 72B3401 no impulsa pasta.

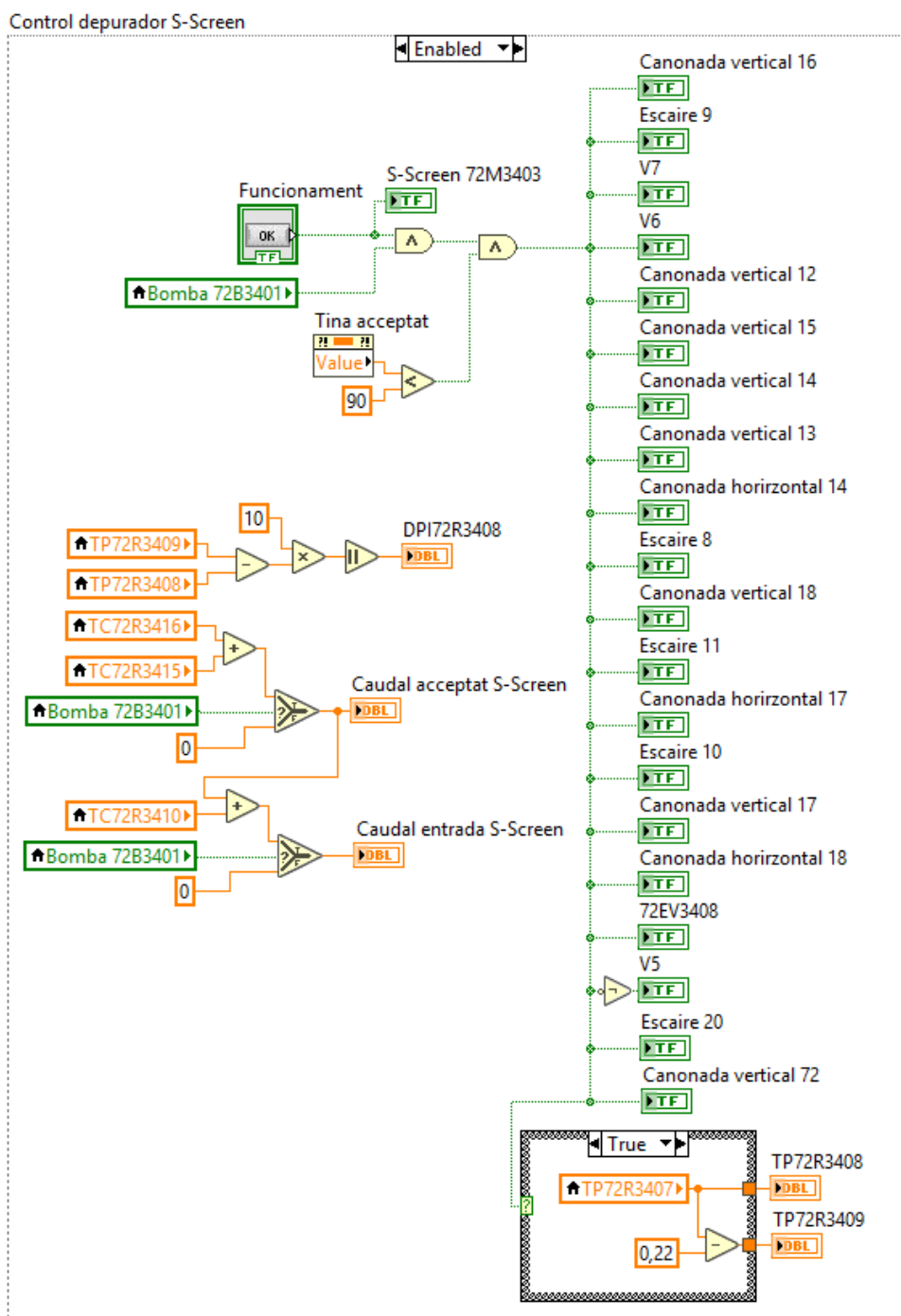


Figura 29: Lògica depurador S-Screen

RC72R3410 – Controlador regulador de caudal

En depurador descrit en el punt anterior compta amb dues canonades de rebuig, una amb fibres de paper que no han passat pel filtre d'acceptat, però que encara es poden aprofitar i l'altra amb partícules residuals de les quals no se'n pot treure cap profit.

El tub del rebuig útil, interessa que tingui un cabal (TC72R3410) constant, ja que és necessari perquè funcioni correctament el següent aparell. Per aconseguir això, es compta amb un controlador regulador de cabal, que mitjançant l'obertura i tancament de la vàlvula 72V3403 ajusta el cabal òptimament.

L'obertura de la vàlvula 72V3403 dependrà de certs factors, ja que hi ha 4 situacions que ens poden fer canviar el comportament d'aquesta vàlvula, pot tenir 3 valors constants i un de variable controlat pel PID.

Situació	Obertura vàlvula
3 primers segons engegada bomba 72B3401 amb pressió diferencial DPI72R3408 igual o per sota de 3 m.c.a.	40%
Bomba 72B3401 amb més de 3 segons de l'engegada i pressió diferencial DPI72R3408 igual o per sota de 3 m.c.a.	Controlador regulador de caudal RC72R3410 amb SP degudament configurat
Bomba 72B3401 apagada	50%
Pressió diferencial DPI72R3408 superior a 3 m.c.a.	80%

Taula 2: Consignes RC72R3410

RC72R3411 – Controlador regulador de caudal

El rebuig útil del Screen, abans d'entrar al RejectSorter, necessita tenir certa proporció d'aigua clara per optimitzar la funció del següent aparell, de forma que és aquí on entra en joc el regulador de cabal, on mitjançant una contant de proporcionalitat introduïda per l'usuari, obra o tanca la vàlvula 72V3402 per proporcionar aquesta part d'aigua al rebuig del Screen. Aquest controlador sap en tot moment el cabal que està passant per la canonada d'aigua mitjançant el transmissor TC72R3411.

Depurador RejectSorter RS2B

Aquest depurador es caracteritza per tenir el que es diu una regadora d'aigua clarificada, aquesta aigua entrarà a l'equip mitjançant l'obertura de la vàlvula 72EV3406 que s'efectuarà si funcionen correctament tots els equips anteriors, la tina d'acceptat està per sota del 90% i el botó de funcionament en 'ON'. El motor del RejectSorter pot engegar solament amb el botó de funcionament, però aquest no impulsarà pasta si no es compleixen la resta de requisits.

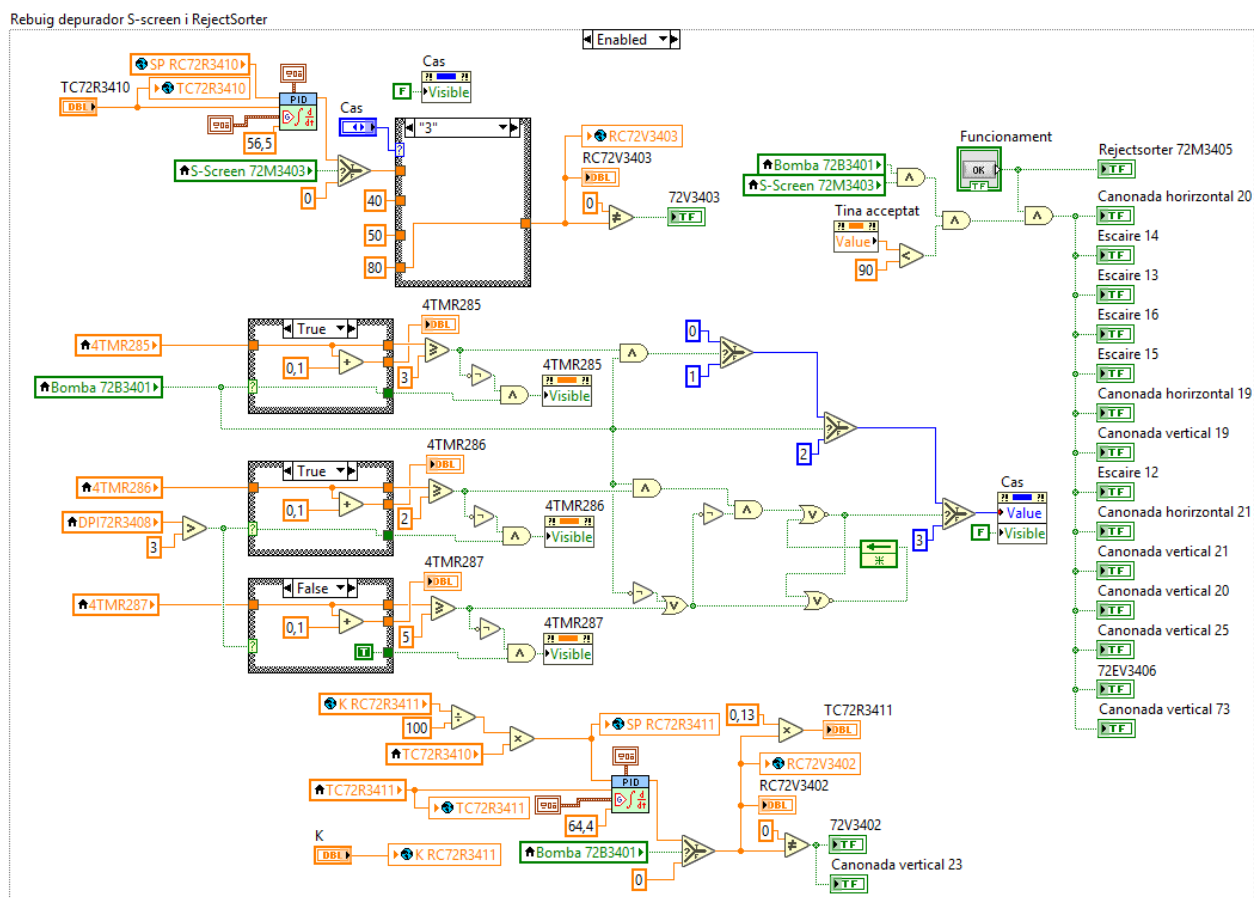


Figura 30: Lògica RC72R3410, RC72R3411 i RejectSorter

72B5101 – Bomba tina acceptat

Per a un mode de control automàtic, la bomba s'activarà un cop la pasta emmagatzemada pugi del 30% de capacitat, mentre que si baixa del 20%, s'activarà un temporitzador i parará la bomba un cop hagin passat 20 segons.

Respecte al mode manual, simplement és necessari tenir el botó en 'ON' i que el nivell de la tina acceptat sigui superior al 10%. Juntament amb l'activació de la bomba, s'obra la vàlvula 72EV5101 per tal de poder donar pas a la pasta i emplenar la torre dels blancs altre cop.

RN72R5201 – Controlador regulador de nivell tina acceptat

Aquest regulador de nivell, com en el RP72R3401, varia la velocitat de la bomba, en aquest cas, per mantenir el nivell de la tina a un cert valor configurat de SP.

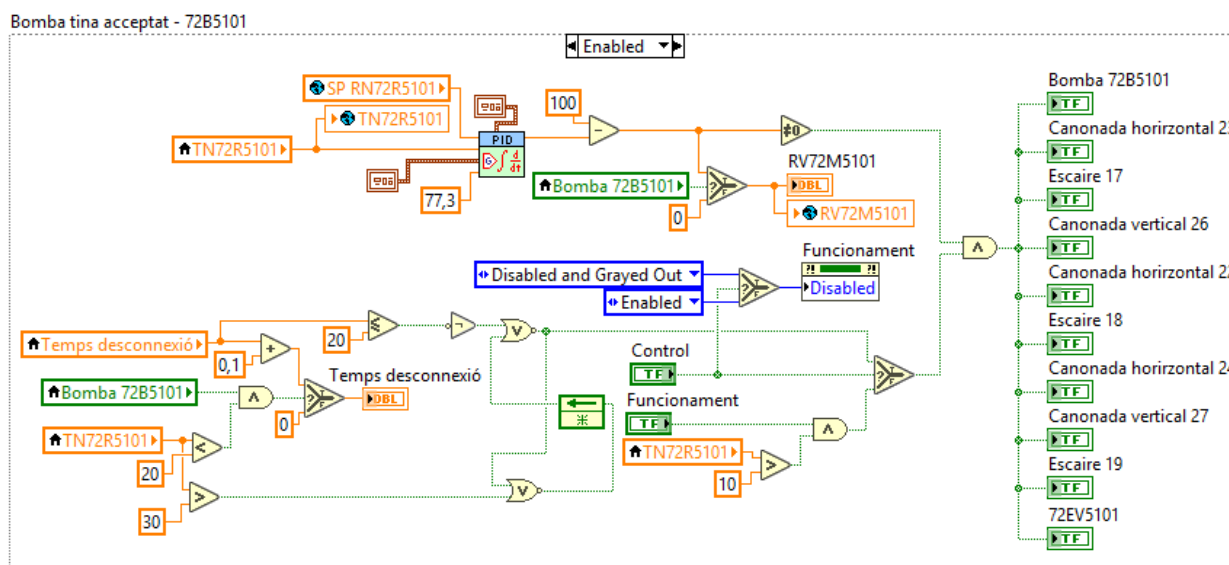


Figura 31: Lògica RN72R5201

Tercera etapa: Depuració combinada per camisa ranurada (MultiSorter+MiniSorter)

Depurador MultiSorter MSM-08/05-3.SR

Aquesta última etapa de depuració, ve encapçalada per un depurador anomenat MultiSorter, on igual que en depuradors anteriors, té un sistema de mesura de la pressió diferencial entre les canonades d'entrada i sortida de l'aparell. En l'entrada es transmet la pressió al sistema de control mitjançant el transmissor TP72R3412, mentre que en la sortida ho fa amb el transmissor TP72R3414 i amb l'ajuda d'aquests dos, es mostra la pressió diferencial entre ambdues canonades.

Respecte a la posada en marxa, com en la majoria de depuradors, s'activa mitjançant el botó de funcionament, aquest haurà d'estar en 'ON' i a més a més, per impulsar fluid, la bomba 72B3401 que alimenta tot el circuit també ho haurà d'estar.

RC72R3416 – Controlador regulador de caudal

Com en el cas del Screen, el rebuig del MultiSorter compta amb un regulador de caudal en la sortida del rebuig del depurador. Aquest regulador controla la vàlvula 72V3406 depenent el cabal que detecta mitjançant el transmissor TC72R3416. La vàlvula pot variar el seu percentatge d'obertura mitjançant el PID o mitjançant consignes programades per casos excepcionals com és mostra en la *Taula 3*.

Situació	Obertura vàlvula
3 primers segons engegada bomba 72B3401 amb pressió diferencial DPI72R3413 igual o per sota de 3 m.c.a.	40%
Bomba 72B3401 amb més de 3 segons de l'engegada i pressió diferencial DPI72R3413 igual o per sota de 3 m.c.a.	Controlador regulador de caudal RC72R3416 amb SP degudament configurat
Bomba 72B3401 apagada	0%
Pressió diferencial DPI72R3408 superior a 3 m.c.a.	80%

Taula 3: Consignes RC72R3416

RC72R3417 – Controlador regulador de caudal

Com en el rebuig del depurador anterior, el cabal haurà d'estar diluït en una part proporcional d'aigua, de manera que l'usuari podrà introduir la constant de proporcionalitat i el controlador regularà la vàlvula 72V3407 per canviar el cabal que rep des del transmissor TC72R3417 i afegir al rebuig el percentatge de cabal d'aigua indicat.

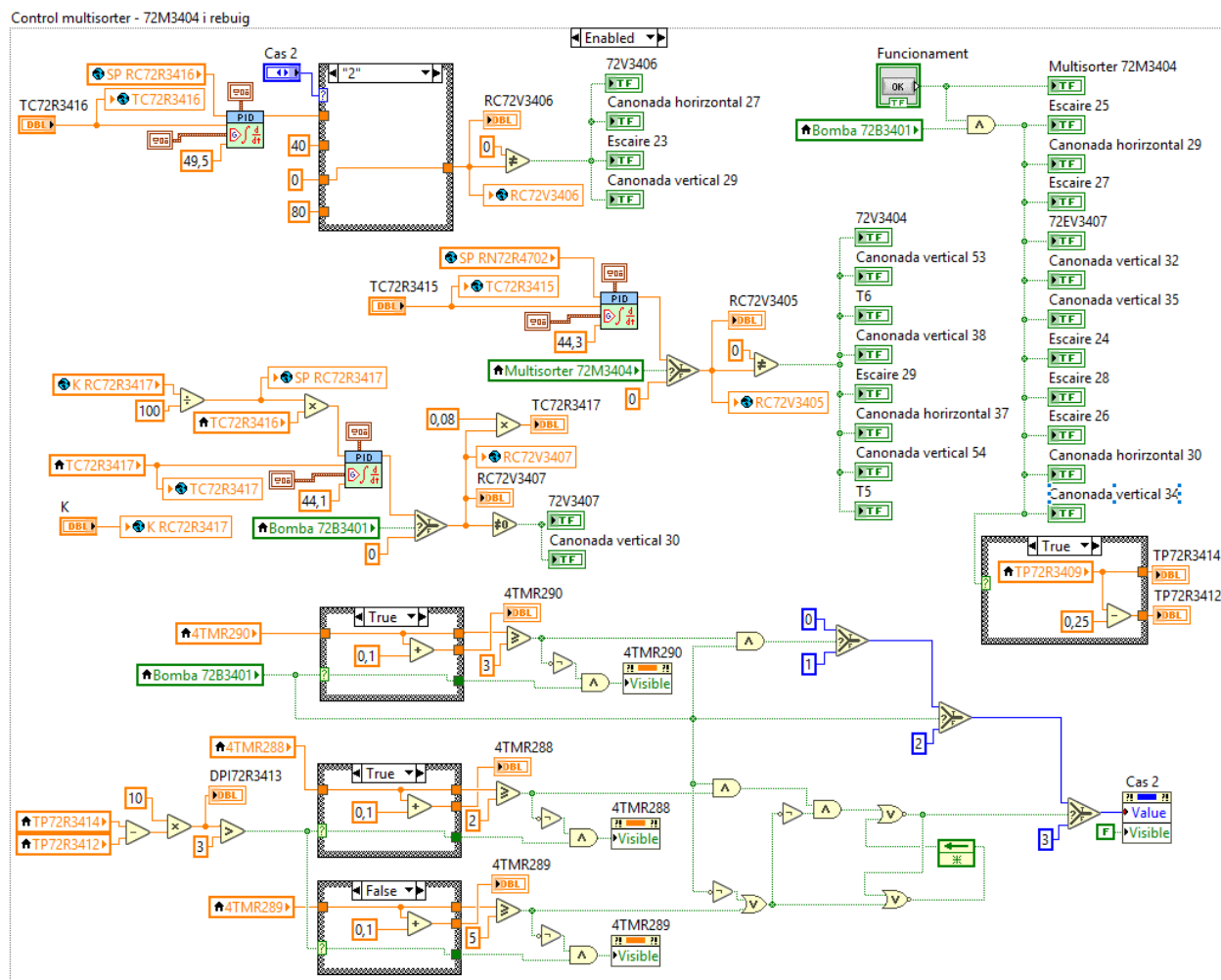


Figura 32: Lògica RC72R3416, RN72R4702, RC72R3417 i depurador MultiSorter

72B5201 – Bomba tina rebug

El depurador MiniSorter té una tina que l'hi proporciona la pasta a depurar, aquesta tina es buida per alimentar el MiniSorter mitjançant la bomba 72B5201, de forma que en mode automàtic, si està la bomba engegada i el nivell de la tina baixa del 3% s'activarà un temporitzador de 20 segons, que un cop passats mostrarà una alarma i pararà la bomba. També s'aturarà i el software mostrarà una alarma si el nivell de pressió diferencial entre l'entrada i la sortida del MiniSorter (DPI72R5203) és major a 3 m.c.a. durant 5 o més segons.

Si en algun cas el depurador MiniSorter s'atura, com que aquesta és la bomba que l'alimenta, també s'aturarà. De forma contrària, si la neteja del MiniSorter està disponible i s'executa, es forçarà l'activació de la bomba per tal que la neteja es dugui a terme.

Respecte al control un cop la bomba estigui aturada, aquesta entrarà en funcionament si el nivell de la tina rebuig supera el 90% o si baixa la pressió diferencial del DPI72R5203 baixa de 5 m.c.a. en cas que s'hagi parat la bomba per pressió alta.

Quan la bomba canvia d'estat els temporitzadors de les alarmes es fiquen a 0 i el temporitzador de l'últim cicle de neteja del MiniSorter al temps màxim per deixar preparada la neteja.

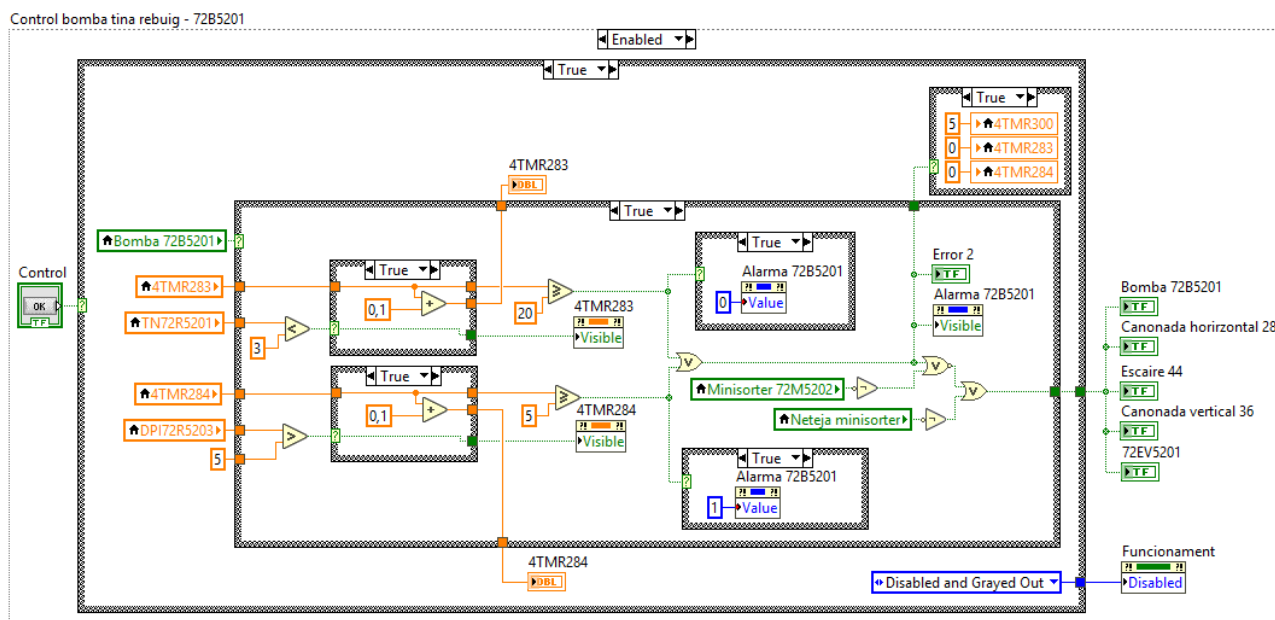


Figura 33: Lògica 72B5201

RN72R5201 – Controlador regulador de nivell tina rebuig

Aquest regulador s'encarrega, un cop el nivell de la tina rebuig passa pel SP indicat al RN72R501, de baixar el cabal que impulsa el MiniSorter canviant el percentatge d'obertura de la vàlvula 72V5201. Com es pot veure en la *Taula 4* hi ha diferents consignes per al percentatge d'obertura de la vàlvula.

Situació	Obertura vàlvula
Bomba 72B5201 engegada, 5 segons de pressió diferencial DPI 72R5203 igual o per sota de 3 m.c.a. i fora del temps de neteja de rebuig lleuger en el MiniSorter.	Controlador regulador de nivell RN72R5201 amb SP degudament configurat
Bomba 72B5201 engegada, 2 segons de pressió diferencial DPI72R5203 per damunt de 3 m.c.a. i fora del temps de neteja de rebuig lleuger en el MiniSorter.	20%
Pressió diferencial DPI 72R5203 igual o per sota de 3 m.c.a. dins el temps de neteja de rebuig lleuger en el MiniSorter o bomba 72B5201 apagada.	0%
Pressió diferencial DPI 72R5203 per damunt de 3 m.c.a. dins el temps de neteja de rebuig lleuger en el MiniSorter.	0%

Taula 4: Consignes RN72R5201

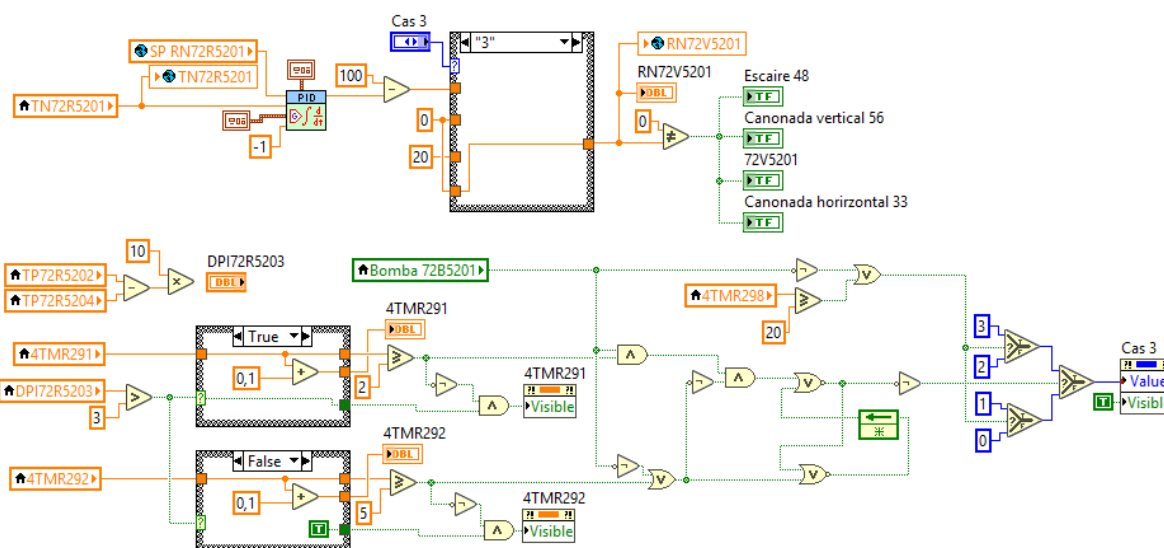


Figura 34: Lògica RN72R5201

Depurador MiniSorter MST-05/05 WR-2.SR i neteja MiniSorter

L'últim depurador del circuit és una màquina que treballa amb cicles d'aproximadament dos minuts, que és el que tarda la bomba 72B5201 a buidar la tina rebuig. Aquest equip també compta amb una opció de neteja de 2 minuts i 30 segons dividida en 5 fases.

Els 4 cicles de neteja són controlats pels temporitzadors 4TMR297, 4TMR298, 4TMR299 i 4TMR300 respectivament. El MiniSorter es parerà si s'està dins d'algun cicle de neteja i el tornarà a posar en marxa un cop acabin tots els cicles. Quan es tria executar una neteja, el botó que hi correspon queda bloquejat fins que s'acabin tots els cicles. Aquest botó també es bloquejarà si la tina rebuig està per sota del 75%, ja que el primer cicle necessita 2 minuts de bombeig i si està per sota, pot ser que la tina es quedi sense pasta.

Quan s'acabi la neteja també entrarà en joc el temporitzador 4TMR294 encarregat d'activar la vàlvula 72EV5205 durant 30 segons. Un cop hagin passat aquests 30 segons, si no s'ha pres el botó de neteja i la bomba està en marxa es desactivarà la vàlvula 72EV5205. Després de desactivar-se, entra en una espera d'1 minut amb el temporitzador 4TMR295 i la vàlvula fa cicles d'1 minut en OFF i 3 segons en ON.

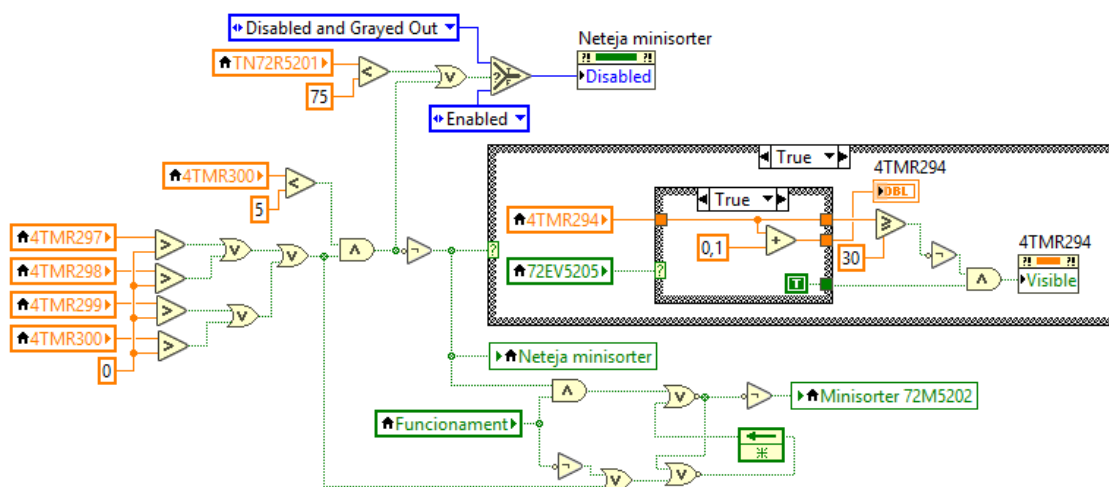


Figura 35: Lògica MiniSorter i neteja 1/3

Quan el MiniSorter entra en els cicles de neteja, el primer que fa és comprovar que les vàlvules estiguin en els estats adients per la neteja i activar un temporitzador de 3 minuts que avisarà a l'usuari si la neteja no s'ha acabat transcorregut aquest temps, ja que la durada és d'uns 2 minuts.

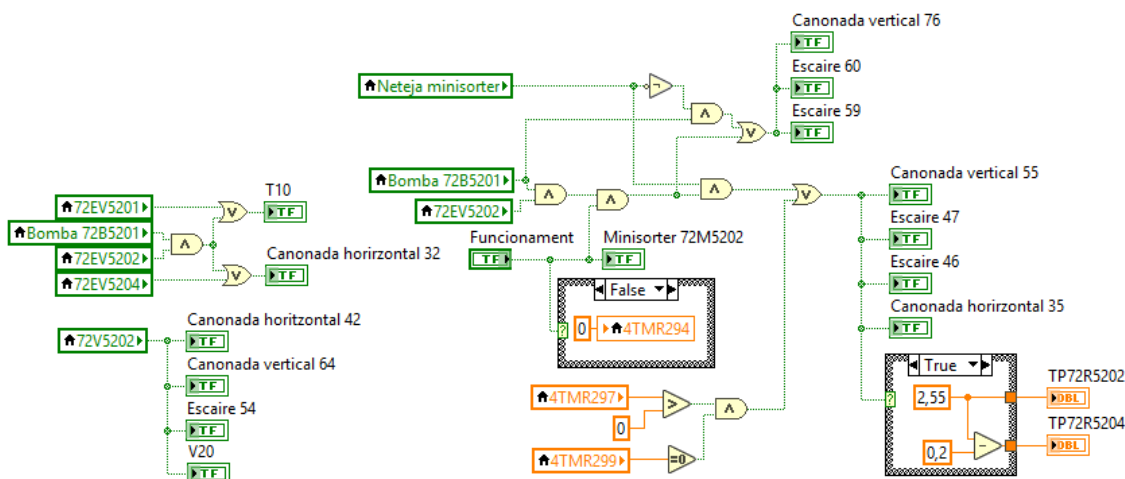


Figura 36: Lògica MiniSorter i neteja 2/3

Si tot està correcte, comencen els cicles de neteja:

Cicle 1 – Apagada motor i preparació de l'equip:

Activació temporitzador 4TMR293 de 200 segons i 4TMR297 de 120 segons. Les vàlvules no canvien, tret de la 72EV5205 que si no ho està, es desactiva. S'apaga el motor del MiniSorter.

Cicle 2 – Temps de rentat general:

Activació temporitzador 4TMR298 de 20 segons. Es desvia el fluid que bombeja la bomba 72B5201, altre cop a la tina rebuig, activant les vàlvules 72EV5203 i 72EV5204 i desactivant la 72EV5202. L'activació de la vàlvula 72EV5204 permet l'entrada d'aigua a l'aparell per dur a terme la rentada.

Cicle 3 – Temps de rentat rebuig lleuger:

Activació temporitzador 4TMR299 de 5 segons. S'activa la vàlvula 72EV5205 i es desactiva la 72EV5206 permetent així una neteja en el circuit de rebuig lleuger.

Cicle 4 – Temps de rentat rebuig pesat:

Activació temporitzador 4TMR300 de 5 segons. Es tanca la vàlvula 72EV5205 i continua entrant aigua per acabar de netejar l'equip de partícules pesants i deixar-lo llest perquè torni al seu normal funcionament.

Cicle 5 – Retorn al funcionament normal

Un cop el temporitzador 4TMR300 hagi arribat als 5 segons, es tancaran les vàlvules 72EV5203 i 72EV5204, mentre que s'obriran la 72EV5202, 72EV5205 i 72EV5206 juntament amb la posada en marxa altra cop del MiniSorter.

RC72R5205 – Controlador regulador de caudal

En aquest últim depurador, hi ha part del rebuig que es circula altre cop dins de l'aparell, ja que aquest rebuig encara té fibres de paper que es poden aprofitar. La part de rebuig que no torna al MiniSorter i ja es considera residu, esta controlada per un regulador de caudal, que obra i tanca la vàlvula 72V5202 per tal de deixar passar més o menys caudal residual i d'aquesta forma controlar també quina proporció de pasta de paper torna a circular dins el depurador.

El percentatge d'obertura de la vàlvula pot tenir 4 valors fixes marcat per constants i un de variable controlat per un PID, depenent les diferents circumstàncies que afecten el depurador MiniSorter.

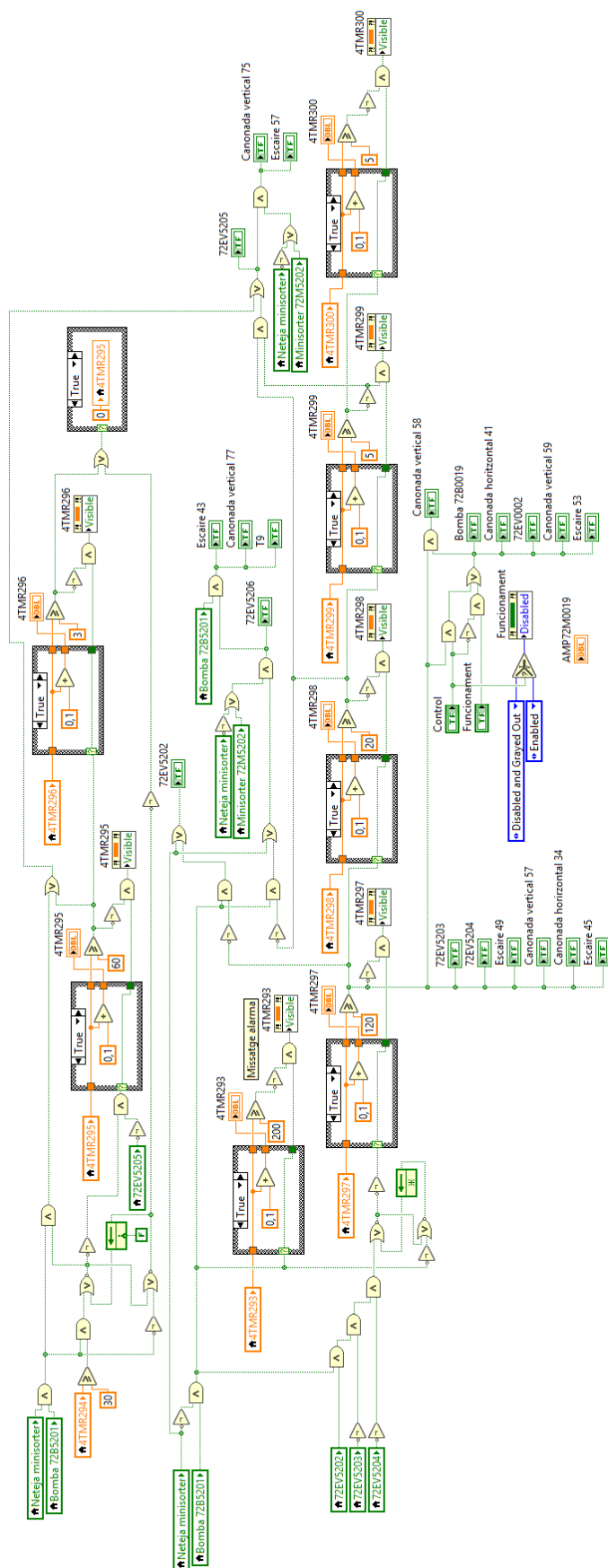


Figura 37: Lògica MiniSorter i neteja 3/3

Situació	Obertura vàlvula
MiniSorter sense neteja com a situació obligatòria amb bomba 72B5201 apagada o 5 segons amb la pressió diferencial DPI72R5203 més petita o igual a 3 m.c.a. i la bomba 72B5201 en marxa més de 3 segons	Controlador regulador de cabal RC72R5205 amb SP degudament configurat
Primers 3 segons bomba 72B5201 en marxa i pressió diferencial DPI72R5203 més petita o igual a 3 m.c.a.	40%
Bomba 72B5201 en marxa amb pressió diferencial DPI72R5203 més gran de 3 m.c.a. i com a mínim 3 segons sense neteja	80%
MiniSorter en neteja fora del temps de neteja general	0%
MiniSorter en neteja durant el temps de neteja general	100%

Taula 5: Consignes RC72R5205

Quarta etapa: Espessit i emmagatzematge

RC72R3415 o RN72R4702 – Controlador regulador cabal espessidors

Abans d'arribar als espessidors, el cabal de pasta que envia el MultiSorter és regulat per la vàlvula 72V3404 mitjançant els senyals que l'hi envia el controlador RC72R3415. Aquest controlador varia el cabal en funció del nivell de la tina de fibra llarga, que envia la pasta a les màquines de paper i el SP que se l'hi assigna. (Vegeu lògica en la *Figura 32*)

72M4506, 72M4508, 72M4510 – Espessidors 1,2,3

Els tres espessidors del circuit funcionen tots tres de la mateixa manera. És necessari que la bomba 72B3401 estigui funcionant perquè la pasta entri i en surti espessida de l'espessidor, per altra banda, el circuit d'aigua, tant de la regadora com del desguàs, funcionarà sempre que l'espessidor estigui en marxa. D'aquesta forma solament amb la posada en marxa de l'espessidor s'enegaran les vàlvules V8, V11, V14 i V17 per a l'espessidor 1, V9, V12,V15 i V18 per a l'espessidor 2 i V10, V13, V16 i V19 per a l'espessidor 3.

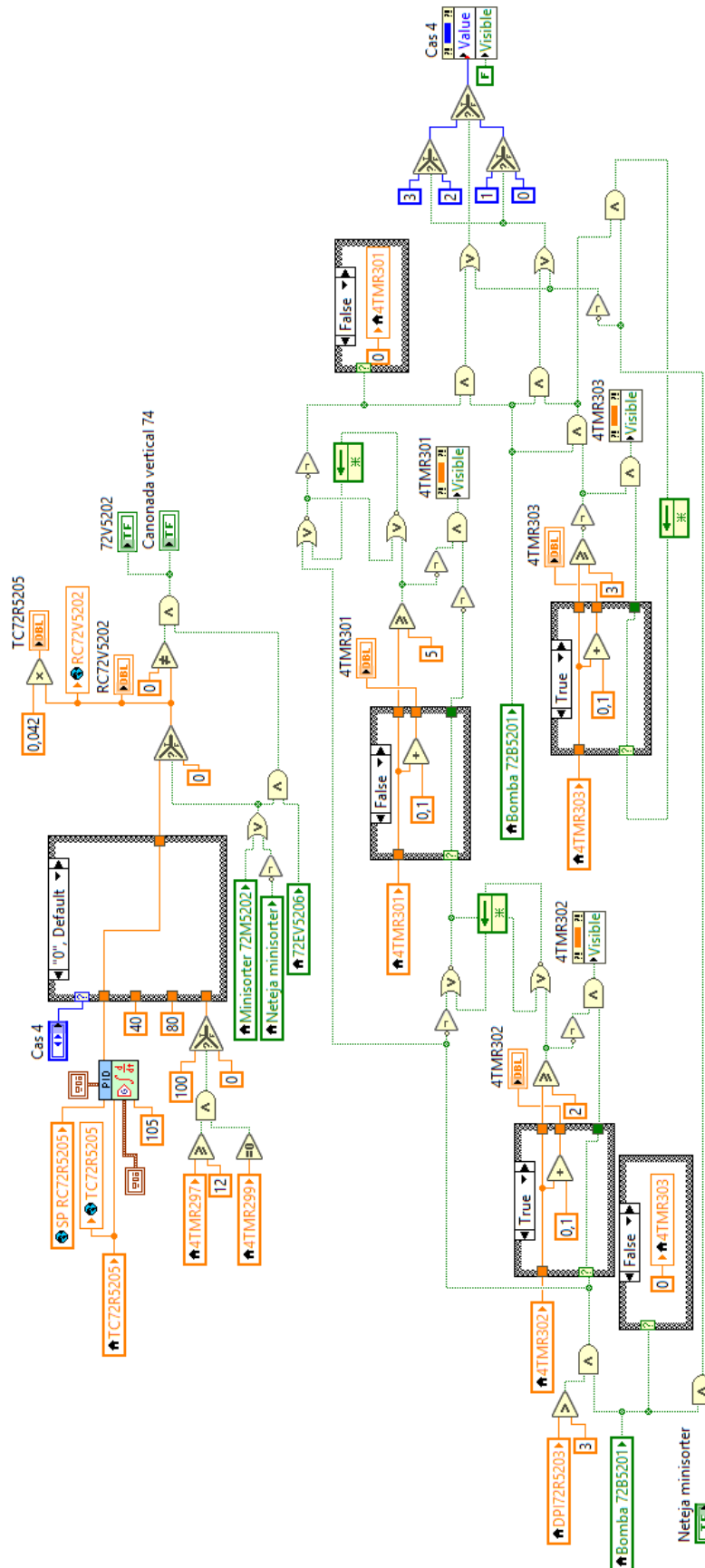


Figura 38: Lògica RC72R5205

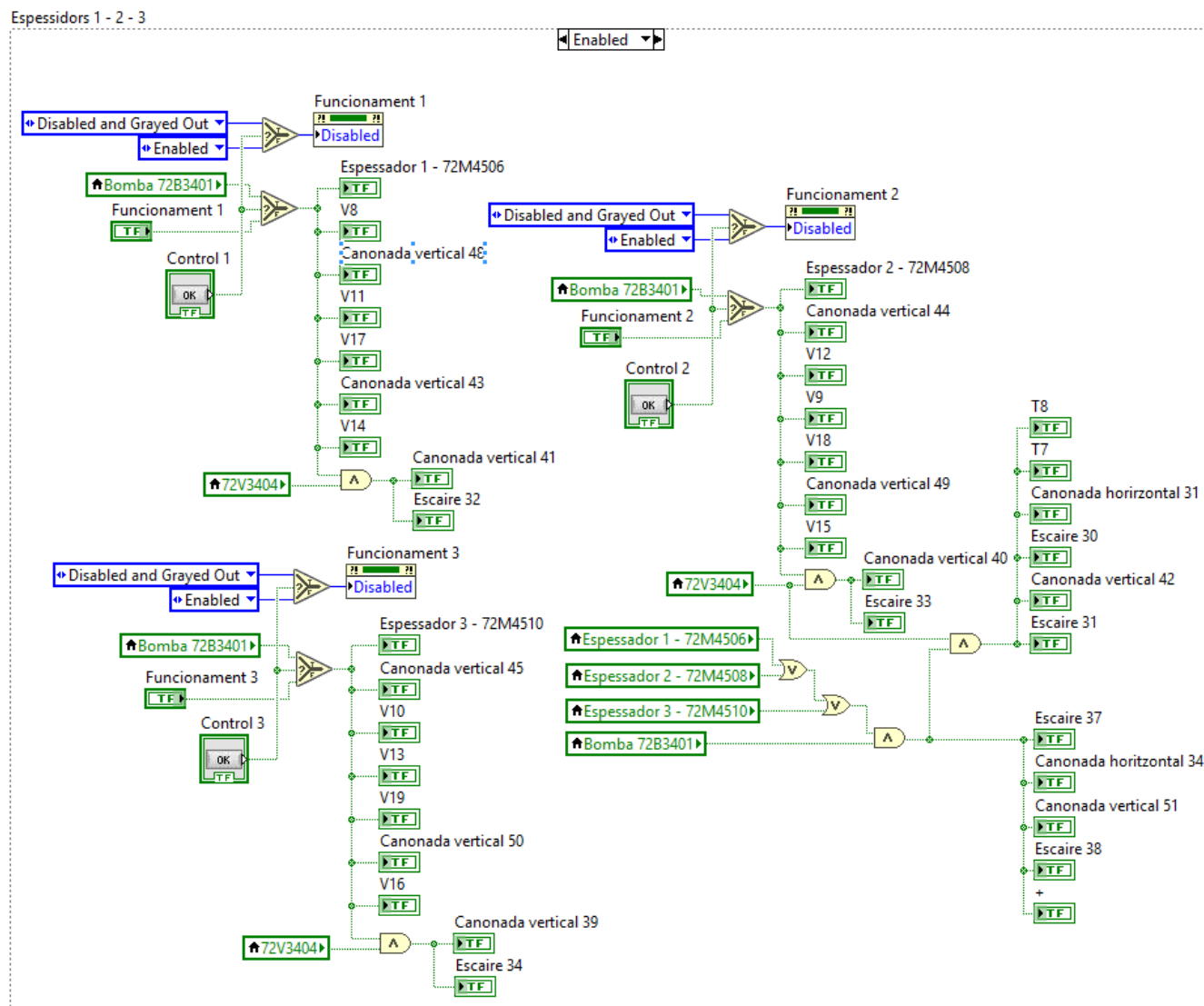


Figura 39: Lògica espessadors 1, 2, 3

Circuit auxiliar: Aigua clarificada i aigua blancs

RN72R0001 – Controlador regulador nivell tanc aigües circuit blanc

Tota l'aigua utilitzada al llarg del procés o es perd amb el rebuig o va al tanc d'aigües del circuit del blanc. Aquest circuit necessita tenir un nivell determinat pel SP del controlador RN72R0001. Aquest controlador és l'encarregat de canviar el percentatge d'obertura de la vàlvula 72V0001 perquè el tanc s'ompli també amb aigua del canal per mantenir-hi un nivell constant.

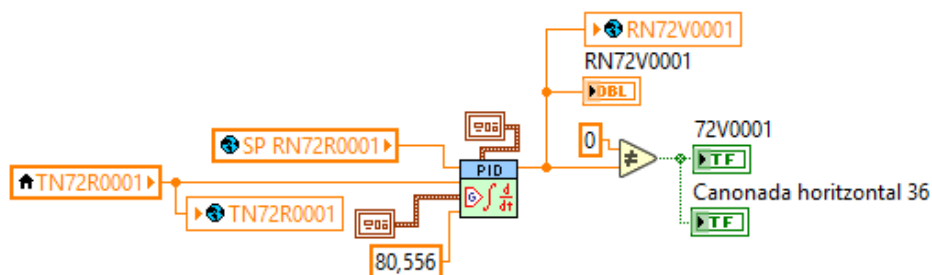


Figura 40: Lògica RN72R0001

72B0017 – Bomba sortida tina aigües blanc a pulper

En mode automàtic aquesta bomba estarà sempre en marxa, si el triturador del *pulper* està funcionant, ja que és l'encarregada d'aportar aigua en la trituració del paper i també en la regulació de la consistència de la pasta. En mode manual serà engegada simplement amb el botó de funcionament.

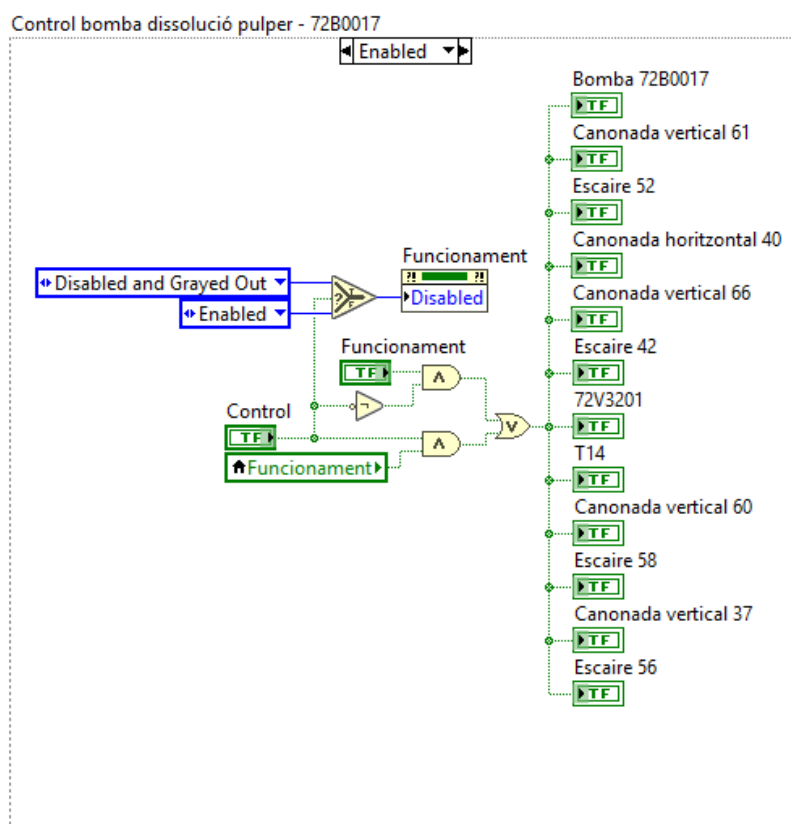


Figura 41: Lògica 72B0017

72B0018 – Bomba aigües blanc 3,5 bar

En mode automàtic, la bomba sempre estarà en funcionament per tal de proporcionar aigua als diferents equips de manera immediata, mentre que en mode manual el botó de funcionament triarà el comportament de la bomba.

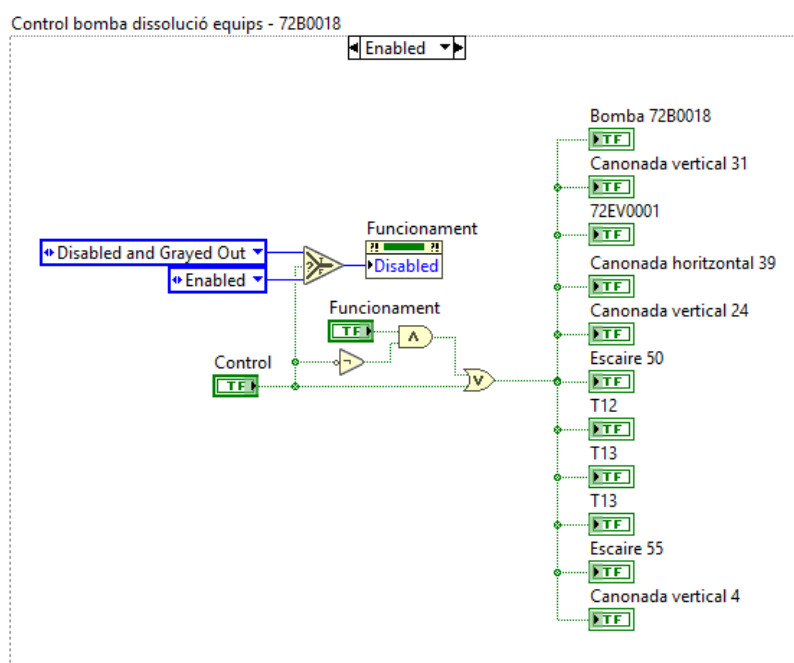


Figura 42: Lògica 72B0018

72B0019 – Bomba aigües blanc 2 bar

Finalment la bomba 72B0019 es posarà en marxa en mode automàtic si el MiniSorter es troba en el cicle de rentada general com es pot veure en la Figura 37, ja que és la que proporciona aigua per facilitar l'expulsió de residus. En mode automàtic la posada en marxa dependrà del botó de funcionament.

4.4. El software de control

Principi de funcionament

Els principals equips del sistema de control distribuït funcionen tots de la mateixa forma, mitjançant un o dos botons, depenent si tenen la possibilitat de ser controlats automàticament o sol manualment.

En un control manual l'equip estarà activat o desactivat si compleix les condicions per al seu funcionament descrites en l'apartat 4.3..

Si l'equip disposa de control automàtic i el botó de control està en "automàtic", el botó de funcionament es desactivarà i l'equip entrarà en funcionament o es parerà solament quan es compleixin les condicions del control automàtic.

Un cop es posi en marxa l'aparell, la seva representació gràfica o la del motor que l'acciona en el sistema de control distribuït, canviarà a color verd, mentre que si s'atura, canviarà a color vermell. Aquesta metodologia també funciona per les diferents vàlvules presents en tot el procés.

Les diferents vàlvules presents en el procés poden ser de dos tipus:

- **Vàlvules tot o res:** Símbol amb l'accionament quadrat. Deixa passar el fluid quan està activada o no el deixa passar quan està desactivada.
- **Vàlvules de regulació:** Símbol amb l'accionament rodó. Van acompanyades d'una caixa numèrica on es mostra el percentatge d'obertura de la vàlvula, essent 0% quan està totalment tancada (desactivada i de color roig) o un valor diferent fins al 100% (activada i de color verd).

Com ja s'ha explicat, totes les vàlvules de regulació són controlades per un controlador el qual les regula depenent les necessitats de la part del procés, mentre que les vàlvules tot o res poden activar-se en posar-se en funcionament un equip, mitjançant un controlador o manualment per l'usuari en la interfície del sistema de control.

Quan un equip s'activa, automàticament també s'activen totes les canonades per on passa fluid, així com l'emplenat o buidat de dipòsits si s'escau.

Hi ha diferents caixes numèriques per cada motor, les quals mostren l'amperatge que està consumint aquest en temps real. També trobem aquests indicadors en les dades que es llegeixen dels transmissors de nivell dels diferents dipòsits.

Al llarg del circuit de canonades, hi ha diferents transmissors que ens proporcionaran informació de diferents variables a tenir en compte, com poden ser pressió, consistència o densitat i cabal. Aquests transmissors poden ser purament informatius pels operaris o també poden passar la informació a diferents controladors perquè aquests canviïn diferents variables del circuit per a la regulació que tinguin configurada o configuri l'operari.

Funcionalitats

Es disposa de diferents funcionalitats a part de la de control de maquinària en el nou software, amb això s'aconseguirà poder fer-lo més competitiu davant els seus possibles adversaris.

Entre aquestes funcionalitats, destaca una interfície d'autenticació i la generació d'alarmes i documents.

- Autenticació

La interfície d'autenticació permet a l'usuari iniciar sessió amb diferents rols per tenir uns privilegis o uns altres, depenent quina sigui la seva funció o lloc de treball en la fàbrica.

En el software estan configurats 3 possibles usuaris, que poden ser per al rol d'administrador, amb tots els privilegis, d'instrumentista també amb tots els privilegis, ja que serà l'operari encarregat de gestionar les diferents regulacions del sistema de control i per últim l'usuari estàndard, l'operador qui tindrà bloquejat canviar els Set Points dels reguladors i altres funcionalitats com la possibilitat de canviar la proporció d'aigua que s'afegeix als rebuigs de certs equips.

D'aquesta forma, la *Taula 6* mostra el resum de quins són els usuaris i contrasenyes per poder accedir en cadascun dels rols:

Usuari	Contrasenya	Permisos
Administrador	Administrador	Totals
Instrumentista	Instrumentista	Totals
Operari	Operari	Parcials

Taula 6: Possibles rols a autenticar en el software

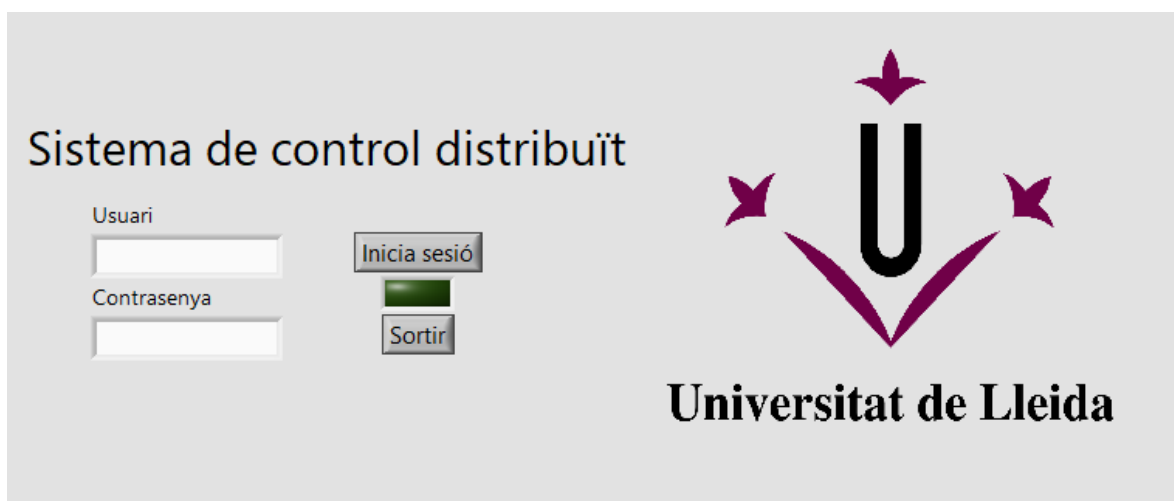


Figura 43: Interfície d'autenticació del software

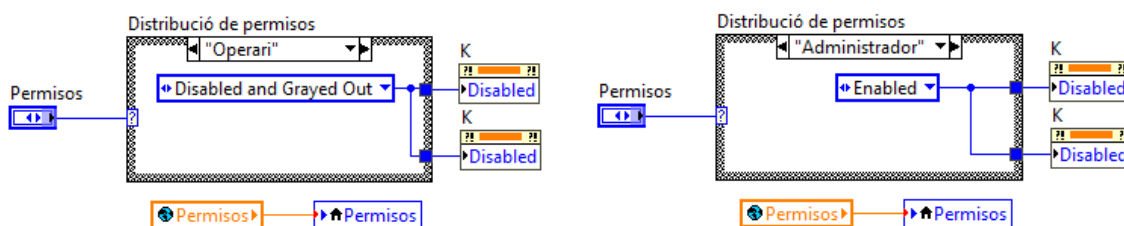


Figura 44: Estructura de la distribució de permisos per al rol d'operari (esquerra) i per al rol d'administrador (dreta)

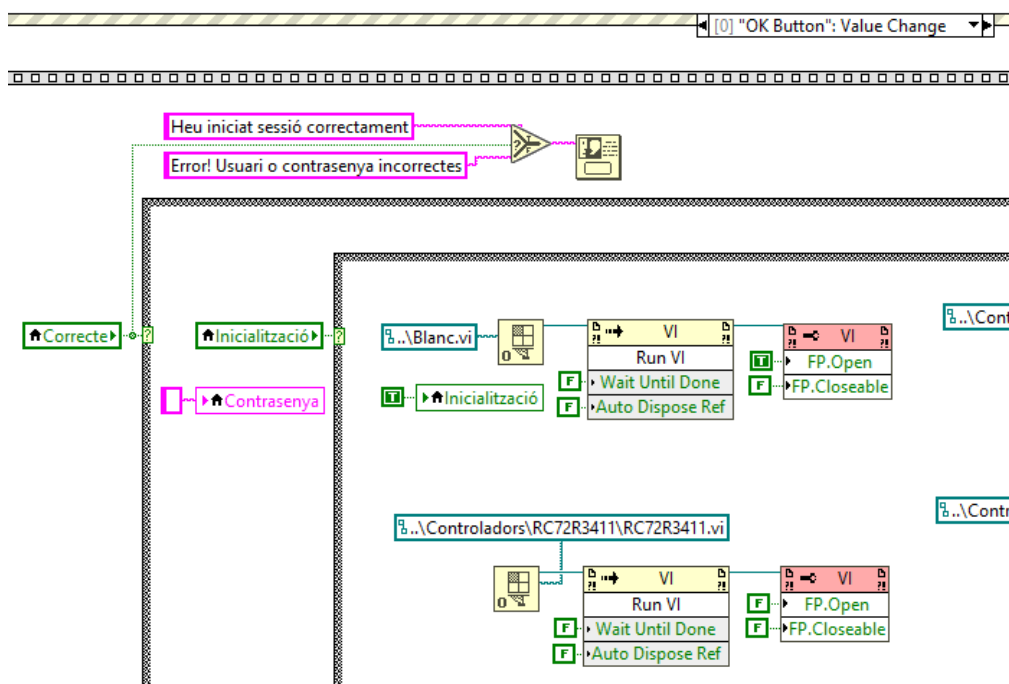


Figura 45: Retall de la inicialització de la interfície d'autenticació

- Gràfiques interactives de dades¹³

Quan es clica al botó dels controladors el software obra una nova finestra amb una gràfica referent a les dades històriques de les variables que impliquen en controlador en qüestió, la qual s'actualitza cada segon amb les dades a temps real des que s'inicia sessió per primer cop en el software¹⁴. L'usuari pot mostrar o amagar de la gràfica les variables que consideri oportunes. Si ha entrat amb un rol amb permisos per modificar el SP del controlador, també ho podrà fer des d'aquí.

La gràfica presenta una sèrie de botons amb les quals permet canviar la manera de visualitzar les dades, moure les dades de la gràfica o ampliar i disminuir la informació que representa gràficament.

Fent clic amb el botó dret del ratolí i obrint l'opció d'exportar, el software permet exportar les dades de la gràfica en diferents formats, entre els quals es troba l'extracció de les dades en un document Excel. L'opció d'exportar dades és una entre totes les que permet fer aquesta funcionalitat i per tancar la gràfica simplement s'ha de clicar al botó que posa 'Tancar'.

¹³ Veure annex A3 – Figura A 6 per poder comparar la millora, tant gràfica com funcional de les gràfiques.

¹⁴ Veure figura 45, a més a més d'inicialitzar el panel frontal del circuit del blanc s'inicialitzen totes les gràfiques dels controladors.

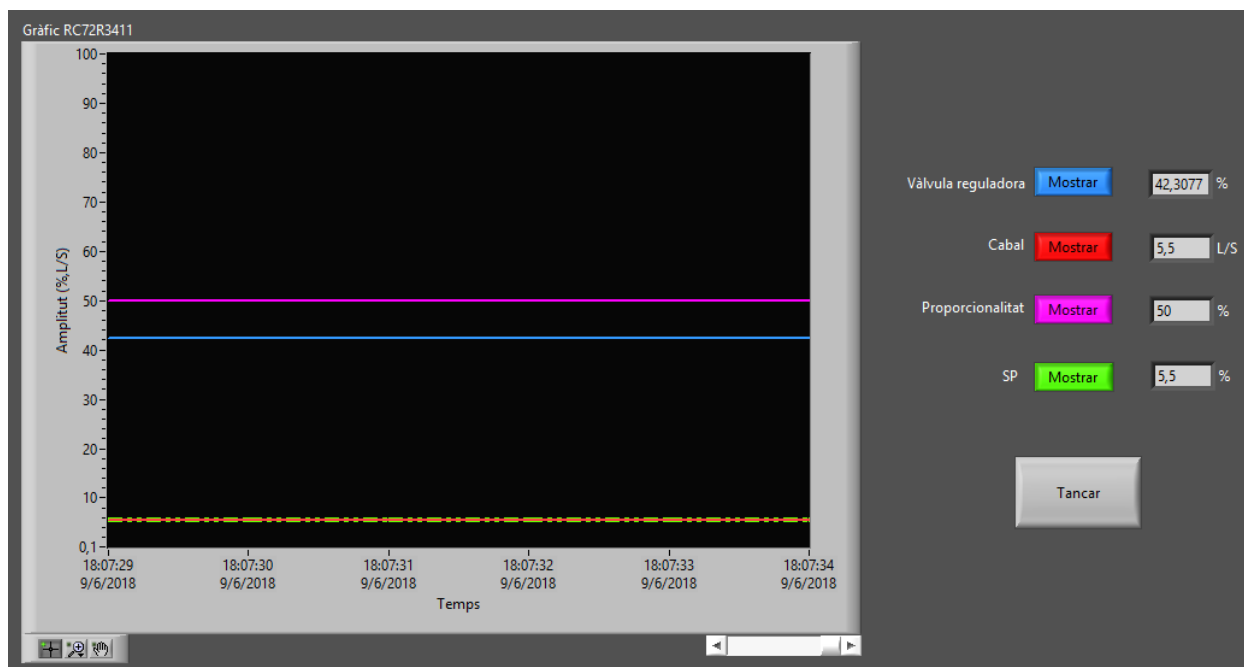


Figura 46: Gràfica referent al controlador RC72R3411 des del panel frontal

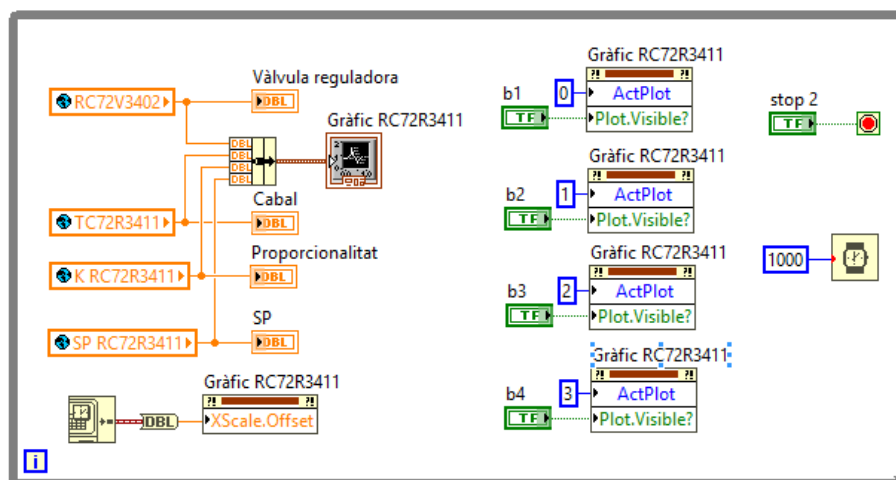
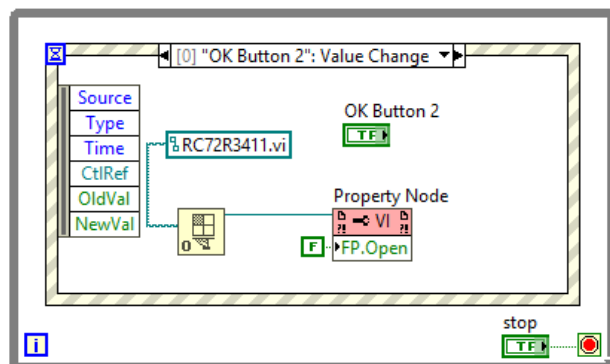


Figura 47: Lògica de la gràfica referent al controlador RC72R3411



- Alarmes

Es disposa també d'una funcionalitat que genera un document Excel on es guarda tot el registre d'incidències que passen al llarg del temps. Aquest document es genera en el primer inici de sessió i guardarà informació cada cop que es produeixi una incidència. Les dades a guardar seran, l'usuari que està connectat en el moment de la incidència, la data, l'hora i la incidència en qüestió. També es produirà un registre quan algun usuari realitzi el canvi en l'estat d'algun equip per tal de tenir controlat qui executa les ordres del sistema de control.

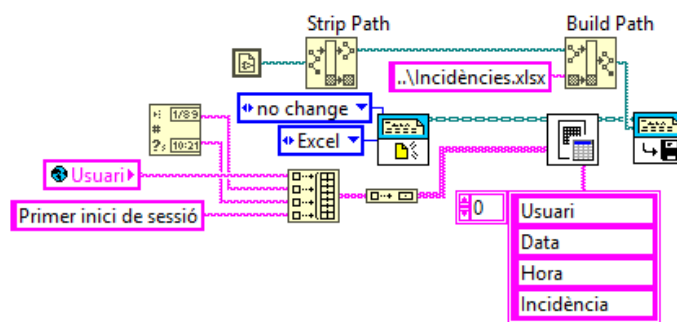


Figura 48: Lògica de la inicialització del document Excel d'incidències

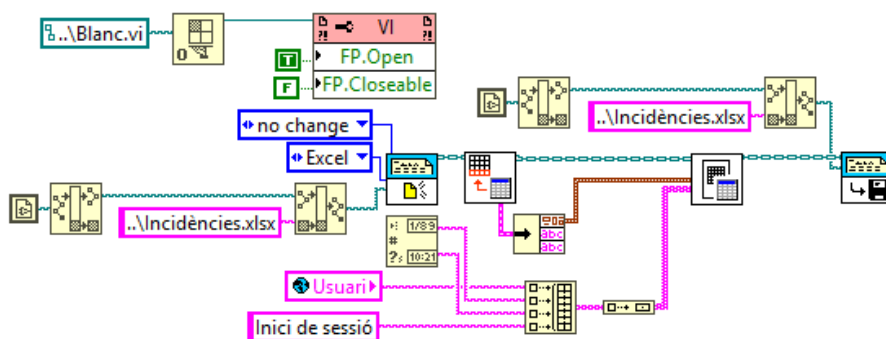


Figura 49: Lògica del registre de l'inici de sessió

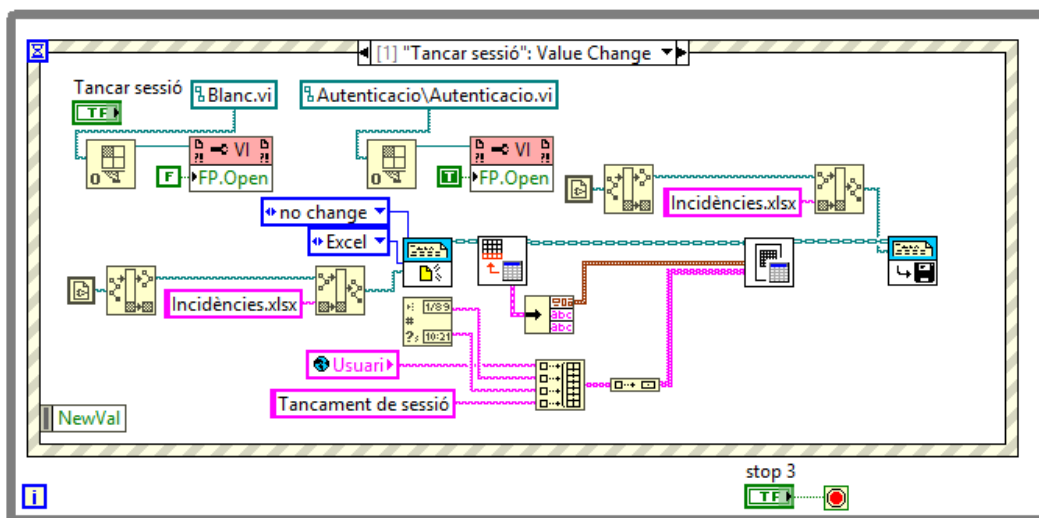


Figura 50: Lògica del registre del tancament de sessió

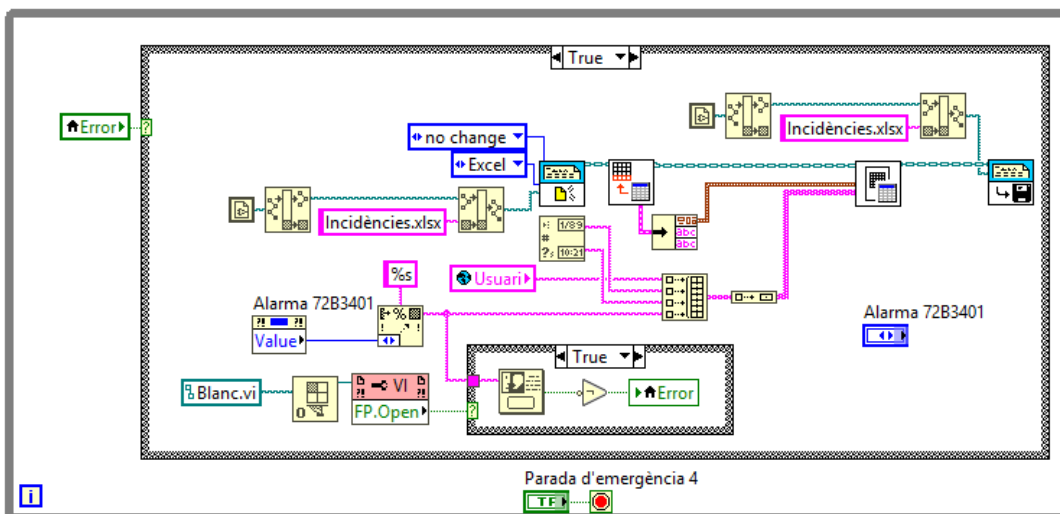


Figura 51: Lògica del registre d'una alarma

- Informació equips

Finalment es presenta l'opció d'obtenir informació dels diferents equips del sistema de control. Aquesta funcionalitat s'activa fent clic als diferents botons de 'Info' de la vora dels equips, de manera que es desplegarà una finestra amb totes les dades tècniques d'aquests.

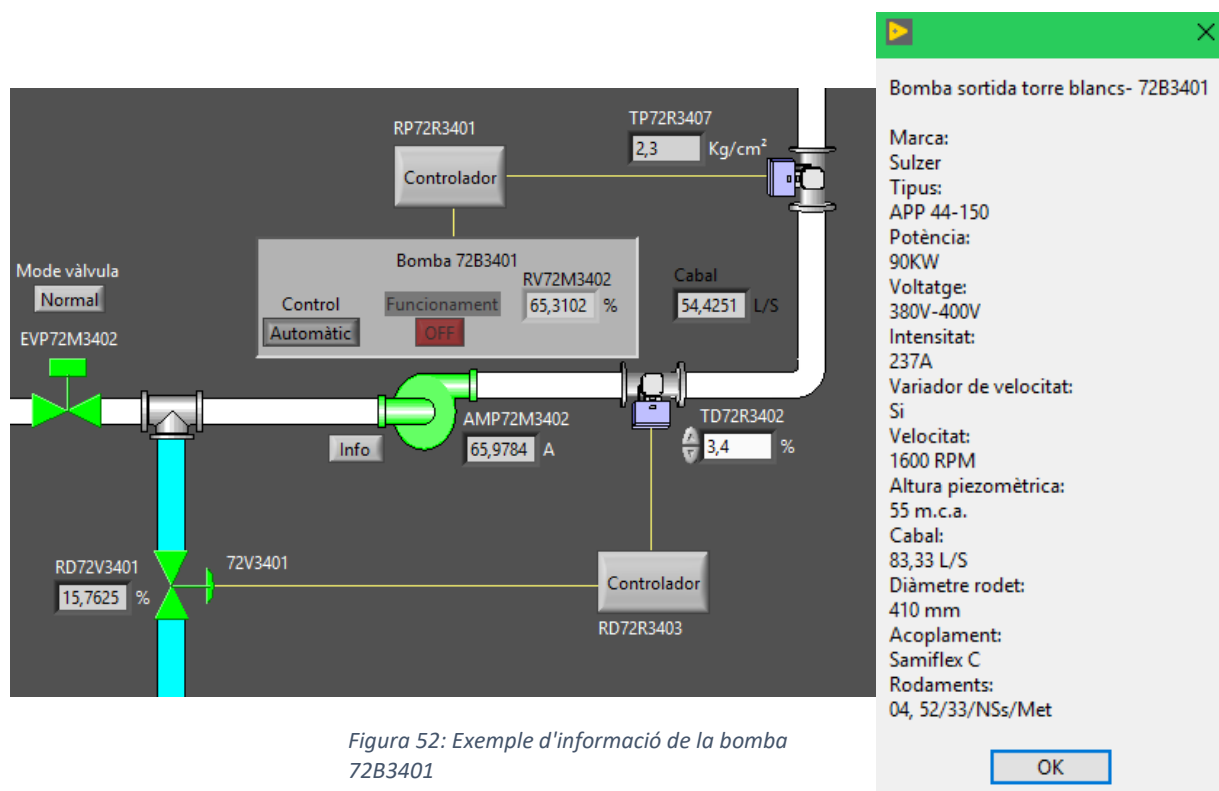


Figura 52: Exemple d'informació de la bomba 72B3401

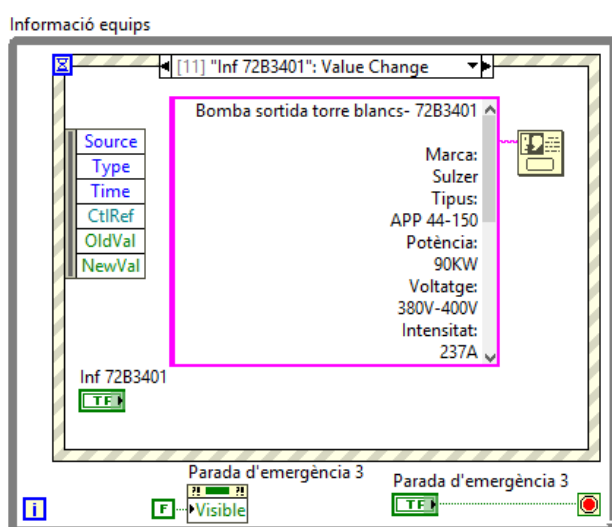


Figura 53: Lògica funcionalitat d'informació d'equips

4.5. Simulació de l'adquisició de dades¹⁵

Donat que el treball s'enfoca solament en la creació d'un software per tal d'assolir els objectius dels quals ja s'ha fet menció, no s'ha estudiat l'adquisició de dades dels diferents equips perquè el software les processa i actua en resposta. Per aquesta raó s'ha simulat alguna d'aquestes dades, mentre que d'altres s'han d'introduir manualment per tal que el software pugui funcionar com ho faria realment i buscant la semblança a la realitat.

Entre les dades que s'han simulat, trobem tot el que serien entrades digitals al software, entre elles, totes les dades dels transmissors de cabal, nivell, pressió i consistència, l'amperatge dels motors dels equips i l'emplenat i buidat de dipòsits. Per altra banda, dades com la consistència de la pasta i el cabal en certs punts del procés s'han configurat com controls manuals, de forma que el mateix usuari pot variar aquestes dades per tal de veure com actua el software en resposta.

Per exemple, a la *Figura 54* es pot veure la simulació de l'emplenat i buidat de la torre dels blancs, sumant i restant valors de cabal que obtenim mitjançant les dades tècniques de les bombes que aporten pasta o n'extreuen respectivament. També es pot veure com es calcula el cabal, pressió o amperatge de la bomba 72B3401 depenent de la velocitat que l'hi assigni el controlador

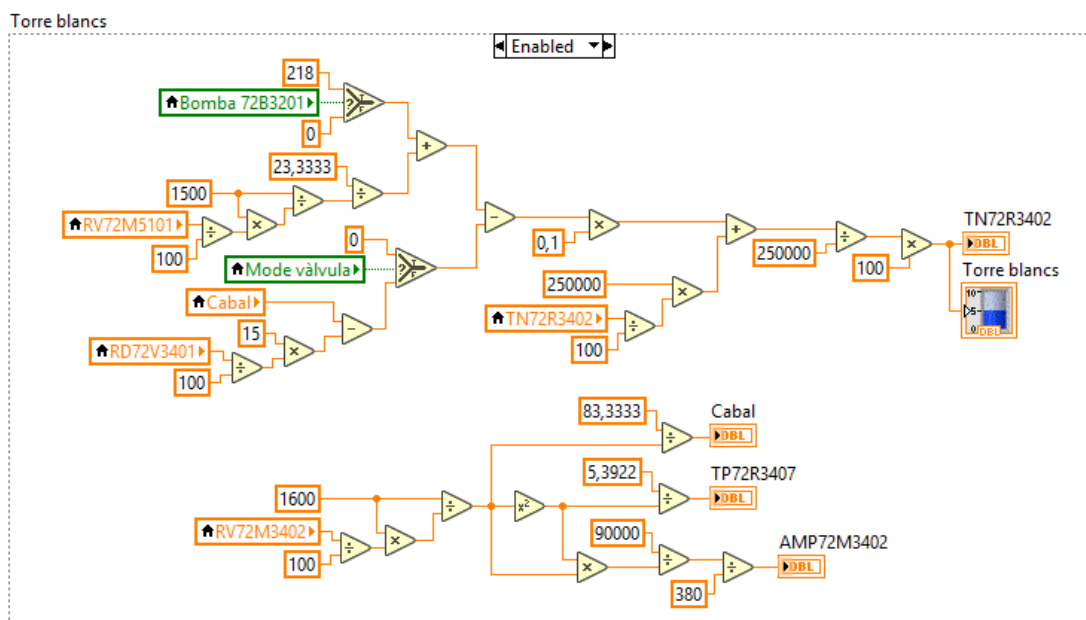


Figura 54: Simulació de l'emplenat i buidat de la torre dels blancs

¹⁵ Veure annex A2 per a més exemples de simulació del software

5. Conclusions

Tal com s'ha expressat als objectius del treball, es pretenia crear una interfície de control gràfica, accessible, intuïtiva i potencialment eficient.

S'ha demostrat que finalment, l'eina que ha sorgit d'aquest treball compleix amb escreix tots aquests objectius, ja que es pot veure com els diferents equips del sistema de control es poden activar i desactivar seguint les pautes que s'han explicat al llarg del treball i tot això en una interfície unificada, molt intuïtiva i que s'assembla molt al sistema de processos que realment hi ha en la indústria en la qual s'ha estudiat.

Respecte al tema d'accessibilitat s'ha intentat sempre que els botons, colors i lletres no impedeixin als operaris, independentment de les seves capacitats, treballar de manera còmoda i eficient en el software implementat.

Finalment s'han aplicat totes les funcionalitats que mancaven en l'antic sistema de control, com ara l'aparició de botons en els diferents equips que mostren una pantalla amb tota la informació tècnica detallada, el seguiment de canonades resulta molt més fàcil, ja que no es talla en cap moment cap tub i es pot generar documents amb l'historial de diferents dades d'interès.

D'aquesta forma es pot concloure que el treball ha sigut un èxit, ja que ha complert amb tots els objectius que s'havien fixat en un principi.

Fent referència a les conclusions personals, la motivació descrita a l'inici del treball, ha estat protagonista durant tot el seu desenvolupament, perquè el fet de poder laborar amb un sistema real per fer el treball de final de grau, ha estat molt enriquidor, ja que es produeix en un context docent, però poc el diferencia d'un projecte professional com els que, un cop acabat el grau, un enginyer es pot trobar al llarg de la seva carrera professional.



Per altra banda, la possibilitat de treballar amb l'entorn de programació LabVIEW, obra un ventall de possibilitats en un futur a l'hora d'afrontar nous projectes de característiques semblants a l'anteriorment exposat, podent concloure que ens trobem davant d'una eina potencialment útil en tot tipus de solucions d'enginyeria havent-ho demostrat en la finalització d'aquest treball.

6. Treball futur

Com s'ha dit diverses vegades en diferents punts del treball, el desenvolupament d'aquest software de control, forma part del principi d'un gran projecte d'enginyeria que consisteix en l'actualització per complet del sistema en què es controla un procés d'una indústria paperera. Per tant, podem deixar definit com a treball futur, l'estudi del hardware que serà l'encarregat d'executar les ordres que s'enviïn des del software, als diferents equips i maquinària del procés.

També seria interessant, que no solament s'actualitzi aquest procés dins de l'indústria, sinó que l'ideal per a una normalització en el control de la fàbrica seria que tots i cadascun dels processos tinguin el mateix software i hardware de control, facilitant així les tasques de manteniment i el possible aprenentatge a l'hora de controlar els equips de nous treballadors que s'incorporin a la plantilla de la fàbrica.

Respecte als punts que es poden millorar de l'anterior treball per a treballs futurs, cal destacar que cal evitar fer propostes que es distanciïn del tema en concret, com en aquest cas la proposta de realitzar un prototip físic, ja que potser serviria per veure que el software funciona, però es distancia dels objectius marcats en un principi.

7. Bibliografia

Llibres

- B. Becerra; J.J. Rivera; J.J. Vargas; R. Ramírez; F. Navarro (2014). *“Procesos de elaboración del papel para la producción de cartón corrugado”*. Universidad de Guadalajara.

Manuals

- National Instruments (1998). *“LabVIEW Basics I Course Manual”*.
- National Instruments (2003). *“Introduction to LabVIEW”*.
- ABB Group (1993). *“DCU3200 – Configuration reference manual”*.
- ABB Group (1993). *“DCU3200 – User’s manual”*.

Referències web

- <https://new.abb.com/>
[En línia]. [Consulta: març. 2018]
- <https://www.siemens.com/global/en/home.html>
[En línia]. [Consulta: març. 2018]
- <http://www.ni.com/es-es.html>
[En línia]. [Consulta: març. 2018]
- <https://www.rockwellautomation.com/>
[En línia]. [Consulta: març. 2018]
- <https://industrial.omron.es/es/home>
[En línia]. [Consulta: març. 2018]
- <http://emersonprocesscourseadvisor.eu/>
[En línia]. [Consulta: març. 2018]

8. Annexos

Índex d'annexos

A1 - Taules etiquetes dels elements del sistema de control.....	77
A1-1. Bombes	77
A1-2. Vàlvules.....	77
A1-3. Equips.....	79
A1-4. Indicadors	79
A1-5. Controladors	80
A1-6. Transmissors	80
A1-7. Temporitzadors.....	81
A2- Simulació plenat i buidat de dipòsits i amperatge motors	82
A3 - Imatges del sistema de control distribuït actual	84
A4 - Lògica del sistema de control distribuït actual	89
A5 – Plànol circuit del blanc	103

A1 - Taules etiquetes dels elements del sistema de control

A1-1. Bombes

Etiqueta	Descripció
72B0017	Bomba sortida tanc aigües blanc a pulper
72B0018	Bomba aigües blanc 3.5 bar
72B0019	Bomba aigües blanc 2 bar
72B3201	Bomba sortida pulper
72B3401	Bomba torre blancs
72B5101	Bomba tina acceptat
72B5201	Bomba tina rebuig

Taula A 1: Etiquetes bombes

A1-2. Vàlvules

Etiqueta	Descripció
72EV0001	Vàlvula bomba aigües blanc 3.5 bar
72EV0002	Vàlvula bomba aigües blanc 2 bar
72EV3403	Vàlvula entrada neteja cicló
72EV3404	Vàlvula sortida neteja cicló
72EV3405	Vàlvula aigua cicló
72EV3406	Vàlvula aigua RejectSorter
72EV3407	Vàlvula aigua MultiSorter
72EV3408	Vàlvula aigua S-Screen
72EV5101	Vàlvula sortida bomba tina acceptat
72EV5201	Vàlvula sortida bomba tina rebuig
72EV5202	Vàlvula entrada MiniSorter
72EV5203	Vàlvula recirculació tina rebuig
72EV5204	Vàlvula aigua MiniSorter
72EV5205	Vàlvula rebuig lleuger MiniSorter
72EV5206	Vàlvula rebuig pesat MiniSorter
72V0001	Vàlvula reguladora caudal entrada tanc aigües blanc
72V3201	Vàlvula regulació cabal aigua al pulper
72V3202	Vàlvula regulació consistència pulper
72V3401	Vàlvula reguladora de consistència torre blancs
72V3402	Vàlvula reguladora de cabal aigua rebuig S-Screen
72V3403	Vàlvula reguladora de caudal rebuig S-Screen
72V3404	Vàlvula reguladora de cabal espessidors

Taula A 2: Etiquetes vàlvules 1/2

Etiqueta	Descripció
72V3406	Vàlvula reguladora de caudal rebuig MultiSorter
72V3407	Vàlvula reguladora de cabal aigua rebuig MultiSorter
72V5201	Vàlvula reguladora caudal sortida MiniSorter
72V5202	Vàlvula reguladora cabal rebuig MiniSorter
EVP72M3402	Vàlvula sortida torre blancs
V1	Vàlvula sortida pulper
V10	Vàlvula entrada aigua espessidor 3
V11	Vàlvula entrada pasta espessidor 1
V12	Vàlvula entrada pasta espessidor 2
V13	Vàlvula entrada pasta espessidor 3
V14	Vàlvula sortida pasta espessidor 1
V15	Vàlvula sortida pasta espessidor 2
V16	Vàlvula sortida pasta espessidor 3
V17	Vàlvula sortida aigua espessidor 1
V18	Vàlvula sortida aigua espessidor 2
V19	Vàlvula sortida aigua espessidor 3
V2	Vàlvula entrada cicló
V3	Vàlvula anul·lació cicló
V4	Vàlvula sortida cicló
V5	Vàlvula anul·lació S-Screen
V6	Vàlvula entrada S-Screen
V7	Vàlvula sortida S-Screen
V8	Vàlvula entrada aigua espessidor 1
V9	Vàlvula entrada aigua espessidor 2
RC72V3402	Percentatge d'obertura 72V3402
RC72V3403	Percentatge d'obertura 72V3403
RC72V3405	Percentatge obertura 72V3404
RC72V3406	Percentatge d'obertura 72V3406
RC72V3407	Percentatge d'obertura 72V3407
RC72V5201	Percentatge obertura 72V5201
RC72V5202	Percentatge obertura 72V5202
RD72V3202	Percentatge obertura 72V3202
RD72V3401	Percentatge obertura 72V3401
RN72V0001	Percentatge obertura vàlvula 72V0001

Taula A 3: Etiquetes vàlvules 2/2

A1-3. Equips

Etiqueta	Descripció
72M3201	Triturador pulper
72M3401	Agitador torre blancs
72M3403	Depurador S-Screen
72M3404	Depurador MultiSorter
72M3405	Depurador RejectSorter
72M4506	Espessidor 1
72M4508	Espessidor 2
72M4510	Espessidor 3
72M5202	Depurador MuniSorter

Taula A 4: Etiquetes equips

A1-4. Indicadors

Etiqueta	Descripció
AMP72B0017	Ampers motor bomba sortida tanc aigües blanc a pulper
AMP72B0018	Ampers motor bomba aigües blanc 3.5 bar
AMP72B0019	Ampers motor bomba aigües blanc 2 bar
AMP72M3201	Ampers motor triturador pulper
AMP72M3205	Ampers motor bomba sortida pulper
AMP72M3401	Ampers motor agitador torre blancs
AMP72M3402	Ampers motor bomba torre blancs
AMP72M3403	Ampers motor S-screen
AMP72M3404	Ampers motor MultiSorter
AMP72M3405	Ampers motor RejectSorter
AMP72M4506	Ampers motor espessidor 1
AMP72M4508	Ampers motor espessidor 2
AMP72M4510	Ampers motor espessidor 3
DPI72R3408	Indicador de pressió diferencial S-Screen
DPI72R3413	Indicador de pressió diferencial MultiSorter
DPI72R5203	Indicador de pressió diferencial MiniSorter
RV72M3402	Regulador de velocitat motor bomba torre blancs
RV72M5101	Regulador de velocitat motor bomba tina acceptat

Taula A 5: Etiquetes indicadors

A1-5. Controladors

Etiqueta	Descripció	SP	Kc	Tr	Td
RC72R3410	Controlador regulador de caudal rebuig S-Screen	11	0,5	1,7	0
RC72R3411	Controlador regulador cabal aigua rebuig S-Screen	5,5	1	1	0
RC72R3415	Controlador regulador cabal espessidors	27,3	1	1	0
RC72R3416	Controlador regulador de caudal rebuig MultiSorter	6	1	1	0
RC72R3417	Controlador regulador cabal aigua rebuig MultiSorter	1,8	1	1	0
RC72R5205	Controlador regulador de cabal rebuig MiniSorter	3	1	0,5	0
RD72R3202	Controlador regulador de consistència pulper	3,4	2,5	0,8	0
RD72R3403	Controlador regulador de consistència torre blancs	95	1	0,5	0
RN72R0001	Controlador regulador de nivell tanc aigües circuit blanc	40	0,8	1,5	0
RN72R5101	Controlador regulador de nivell tina acceptat	20	1,3	0,5	0
RN72R5201	Controlador regulador de nivell tina rebuig	2,3	1,5	0,5	0
RP72R3401	Controlador regulador de pressió bomba torre blancs	11	0,5	1,7	0

Taula A 6: Etiquetes controladors

A1-6. Transmissors

Etiqueta	Descripció
TC72R3410	Transmissor de caudal rebuig S-Screen
TC72R3411	Transmissor de cabal aigua rebuig S-Screen
TC72R3415	Transmissor de cabal espessidors
TC72R3416	Transmissor de caudal rebuig MultiSorter
TC72R3417	Transmissor de cabal aigua rebuig MultiSorter
TC72R5205	Transmissor de cabal rebuig Minisorter
TD72R3203	Transmissor consistència pulper
TD72R3402	Transmissor de consistència torre blancs
TN72R0001	Transmissor de nivell tanc aigües circuit blanc
TN72R3402	Transmissor de nivell torre blancs
TN72R4701	Transmissor de nivell tina fibra llarga
TN72R5101	Transmissor de nivell tina acceptat
TN72R5201	Transmissor de nivell tina rebuig
TP72R0002	Transmissor pressió bomba aigües blanc 3.5 bar
TP72R3407	Transmissor de pressió bomba torre blancs
TP72R3408	Transmissor pressió entrada S-Screen
TP72R3409	Transmissor pressió sortida S-Screen
TP72R3412	Transmissor de pressió entrada MultiSorter
TP72R3414	Transmissor de pressió sortida MultiSorter
TP72R5202	Transmissor de pressió entrada MiniSorter
TP72R5204	Transmissor de pressió sortida MiniSorter

Taula A 7: Etiquetes Transmissors

A1-7. Temporitzadors:

Etiqueta	Descripció	Temps (s)
4TMR39	Temporitzador neteja cicló	30
4TMR282	Temporitzador desconexió bomba tina acceptat	20
4TMR283	Temporitzador nivell alt tina rebuig	20
4TMR284	Temporitzador DPI72R5203 alt	5
4TMR285	Temporitzador engegada 72B3401	3
4TMR286	Temporitzador DPI72R3408 alt	2
4TMR287	Temporitzador DPI72R3408 OK	5
4TMR288	Temporitzador DPI72R3413 alt	2
4TMR289	Temporitzador DPI72R3413 OK	5
4TMR290	Temporitzador engegada 72B3401	3
4TMR291	Temporitzador DPI72R5203 alt	2
4TMR292	Temporitzador DPI72R5203 OK	5
4TMR293	Temporitzador alarma cicles MiniSorter	200
4TMR294	Temporitzador obertura vàlvula rebuig lleuger després de neteja	30
4TMR295	Temporitzador cicles MiniSorter	60
4TMR296	Temporitzador cicles vàlvula rebuig lleuger	3
4TMR297	Temporitzador neteja general MiniSorter	120
4TMR298	Temporitzador neteja rebuig lleuger	20
4TMR299	Temporitzador neteja rebuig pesat	5
4TMR300	Temporitzador retorn cicles MiniSorter	5
4TMR301	Temporitzador DPI72R5203 alt i 72B5201 ON	2
4TMR302	Temporitzador DPI72R5203 OK	5
4TMR303	Temporitzador 72B5201 ON i sense neteja	3

Taula A 8: Etiquetes temporitzadors

A2. Simulació emplenat i buidat de dipòsits i amperatge motors:

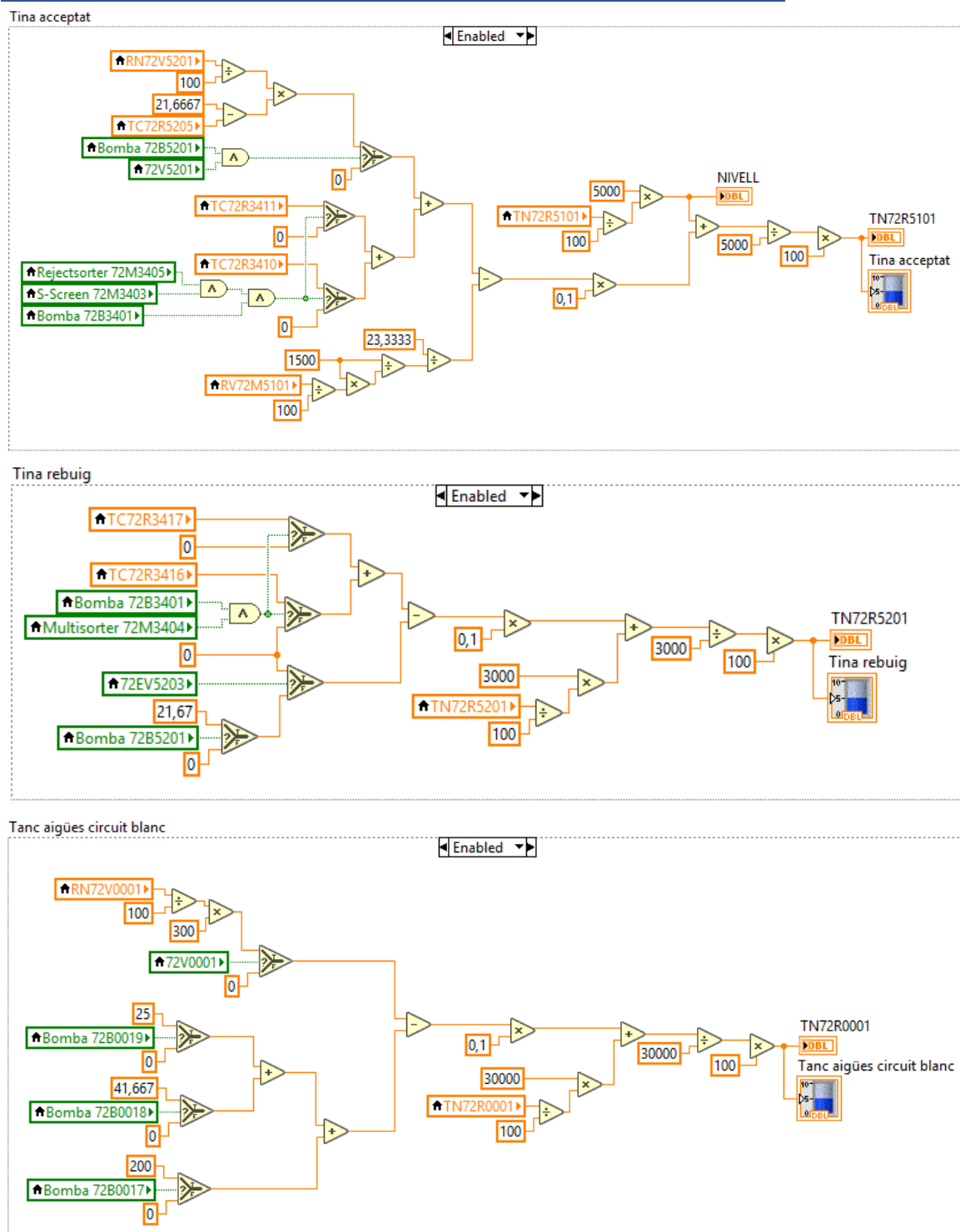


Figura A 1: Simulació emplenat i buidat tina acceptat, tina rebug i tanc aigües circuit del blanc

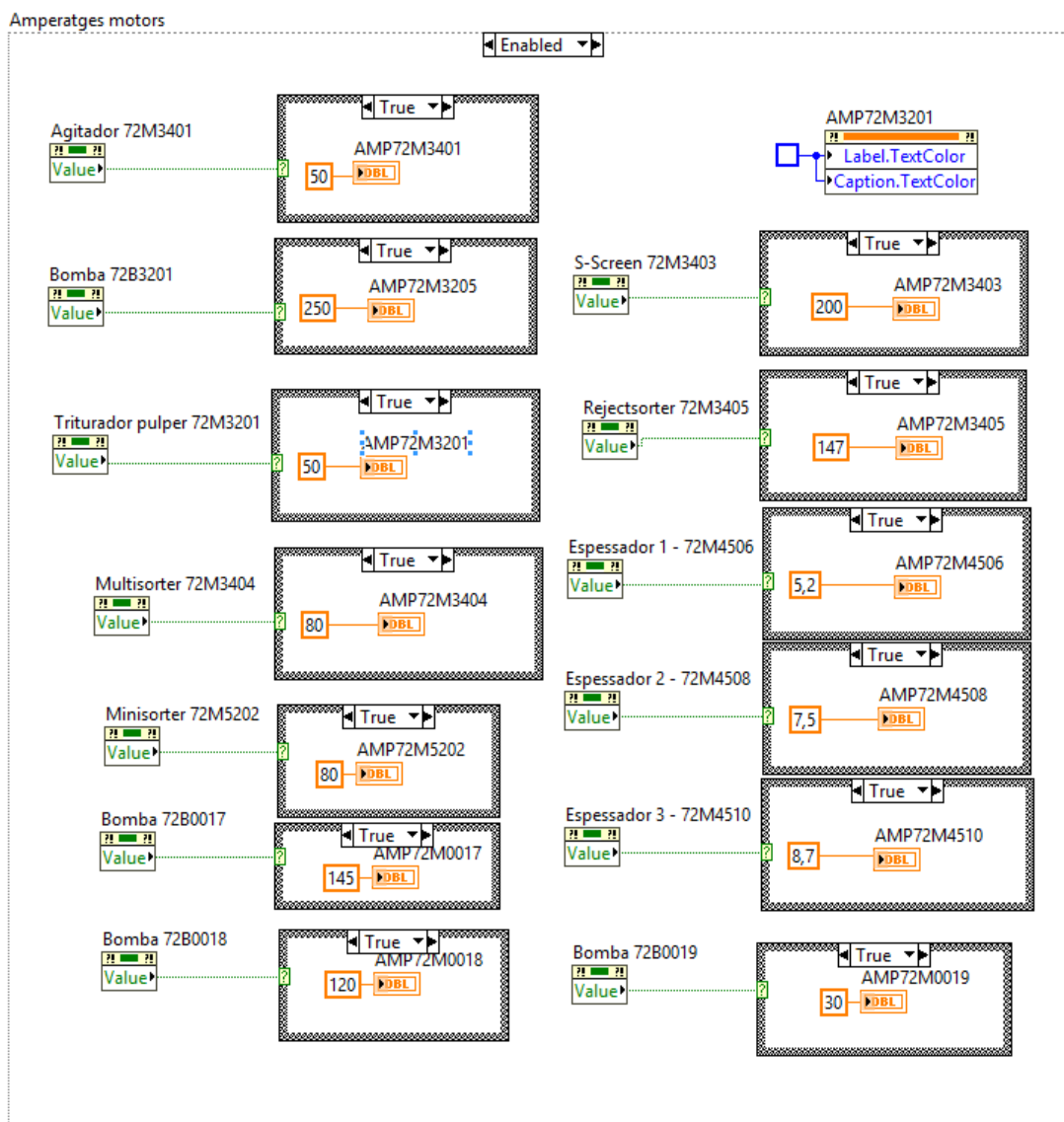


Figura A 2: Simulació indicador ampers motors dels equips

A3 - Imatges del sistema de control distribuït actual:

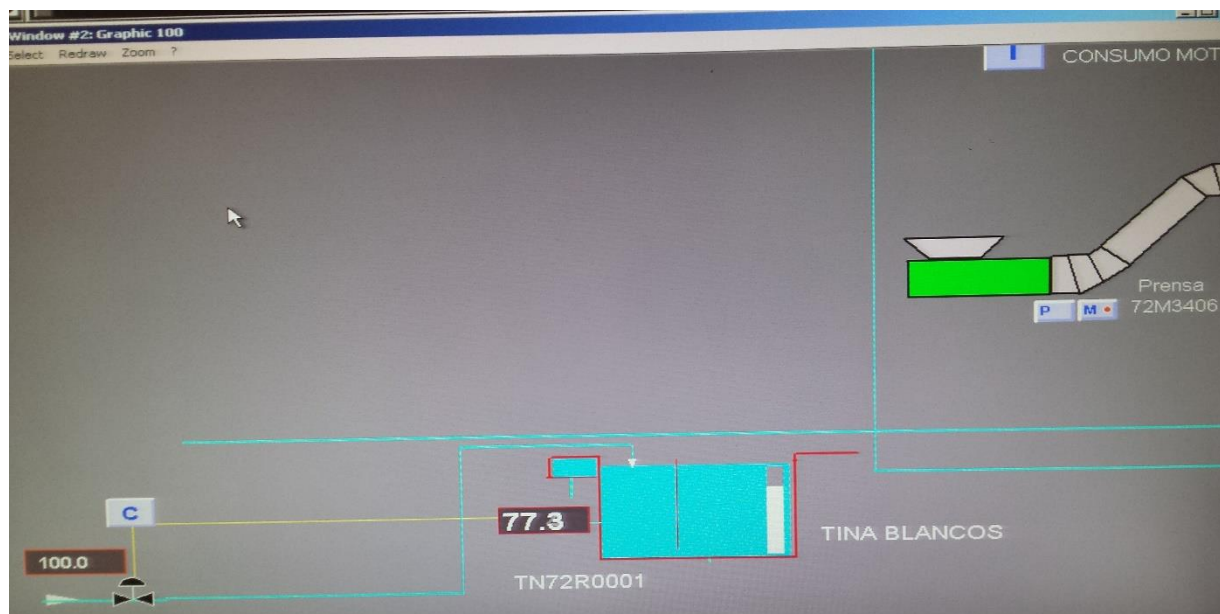


Figura A 3: Imatge de la tina aigües circuit del blanc amb canonades tallades

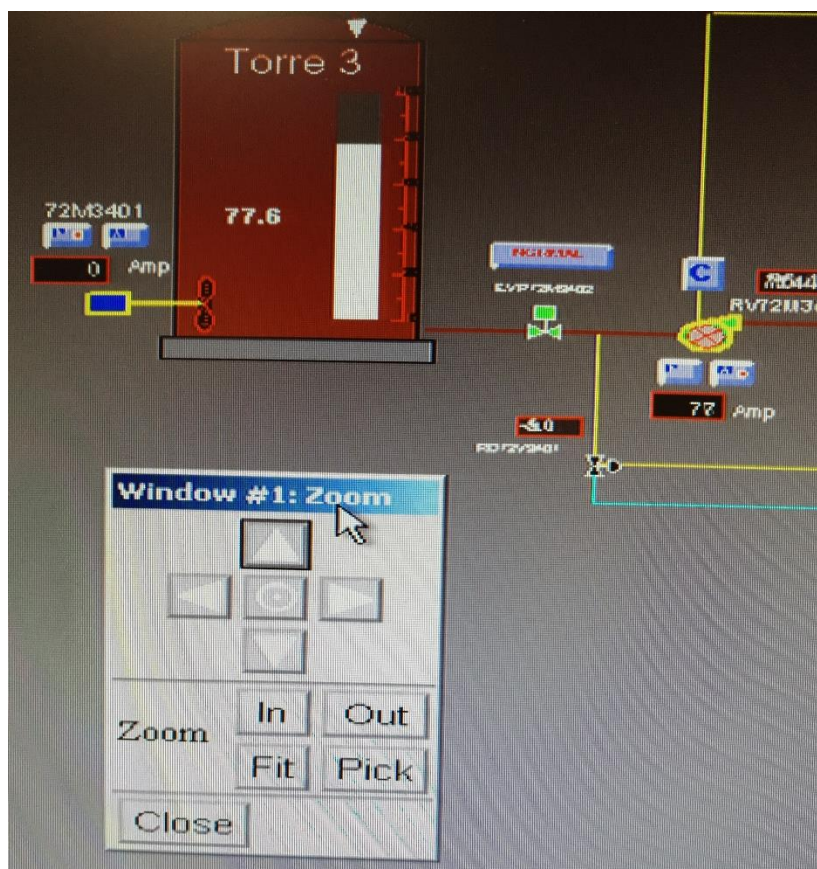


Figura A 4: Funcionalitat 'Zoom', etiquetes molt petites i solapament de dades

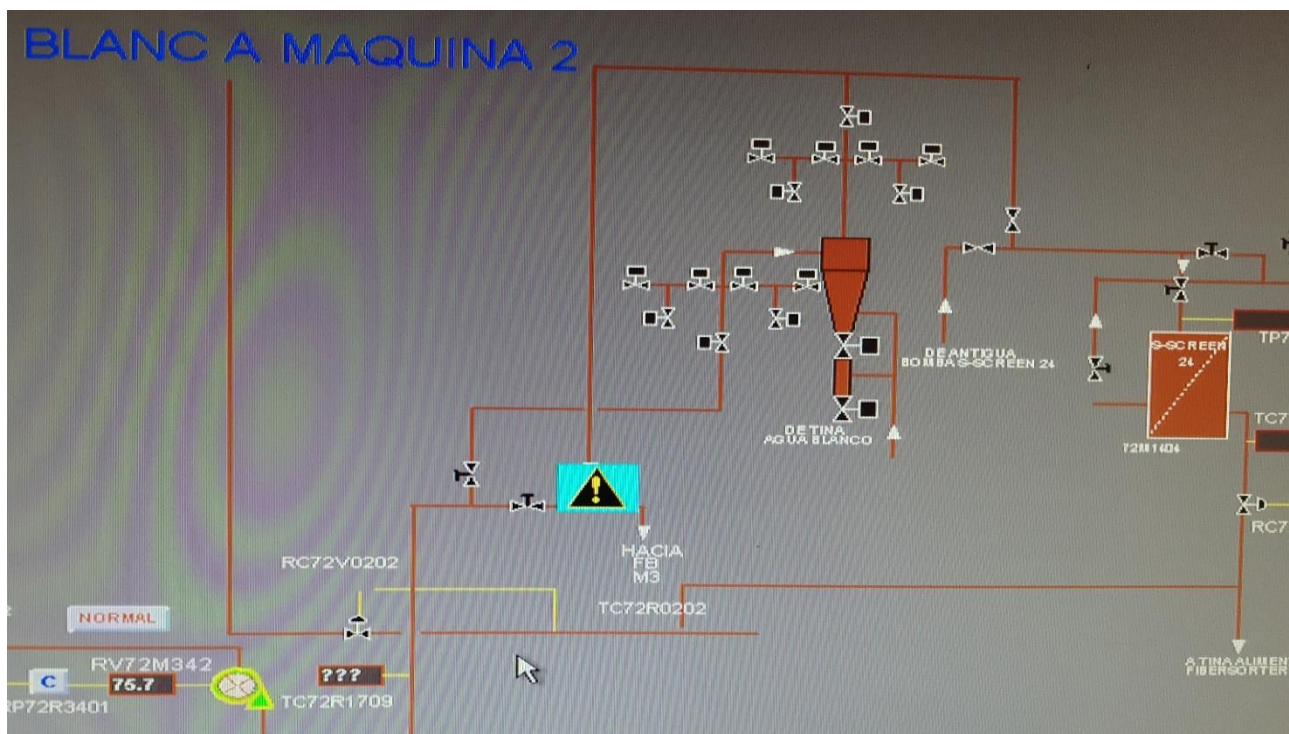


Figura A 5: Finestra del cicló del circuit del blanc en desús

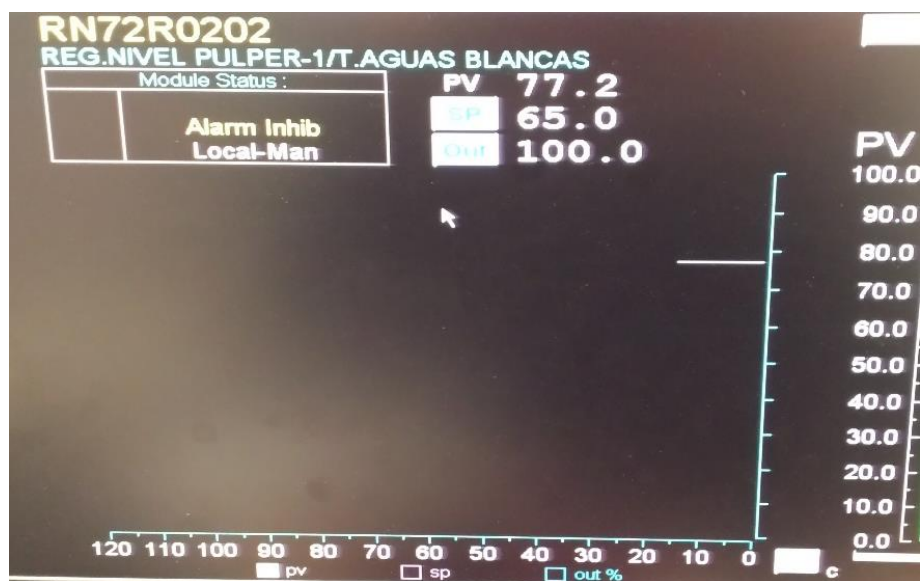


Figura A 6: Gràfica d'un regulador de nivell

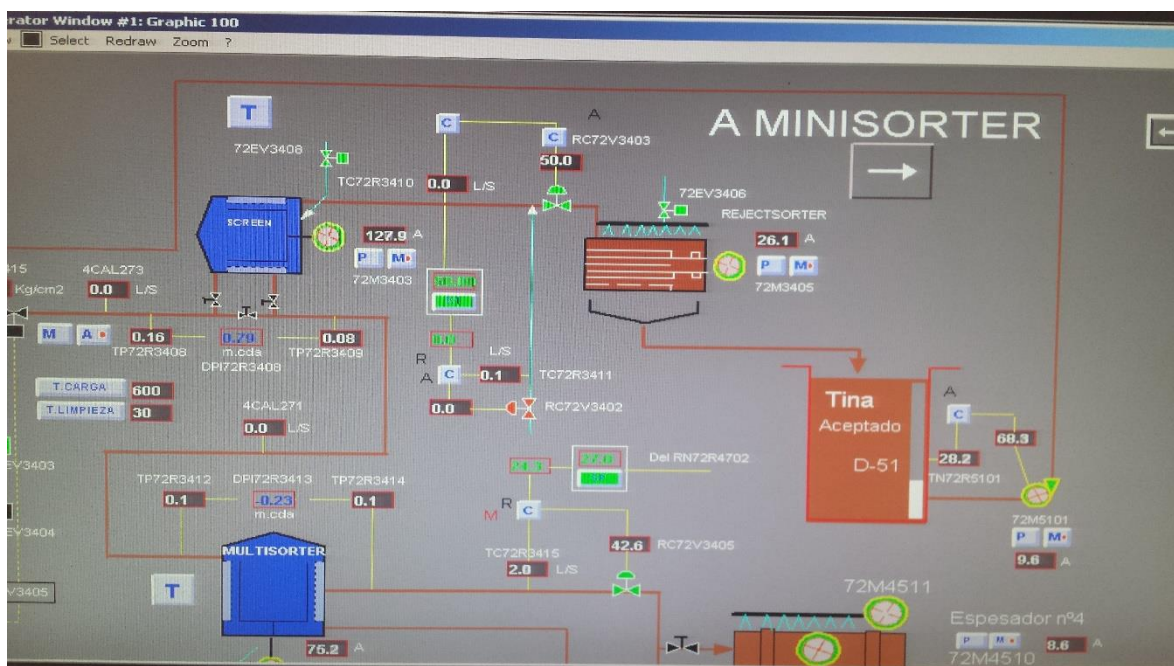
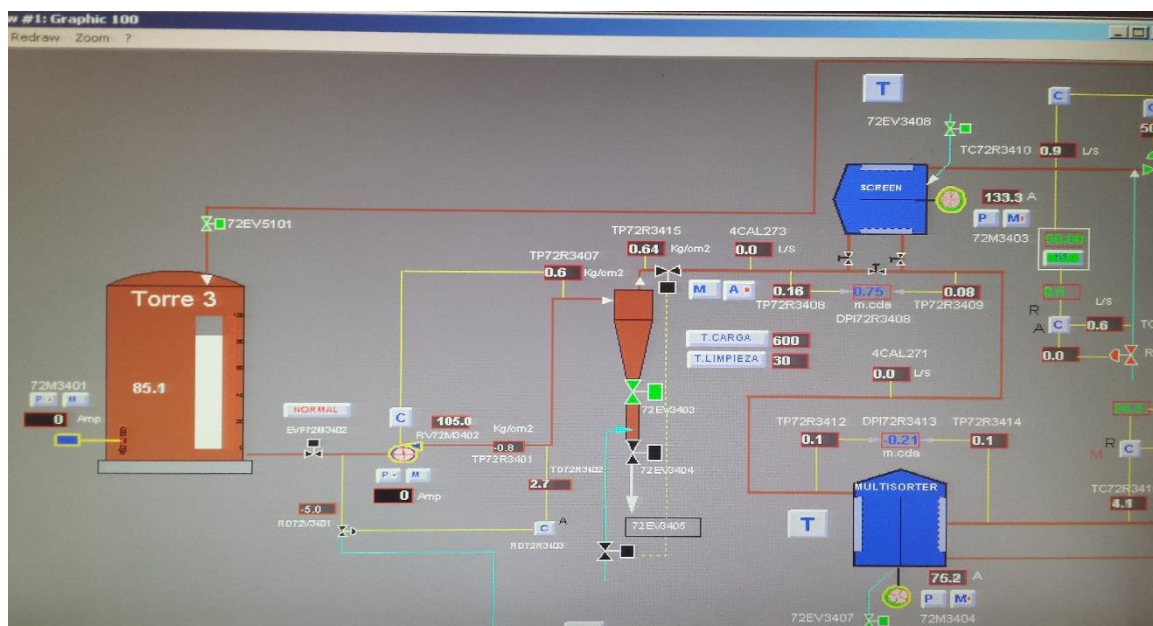


Figura A 7 i Figura A 8: Circuit del blanc

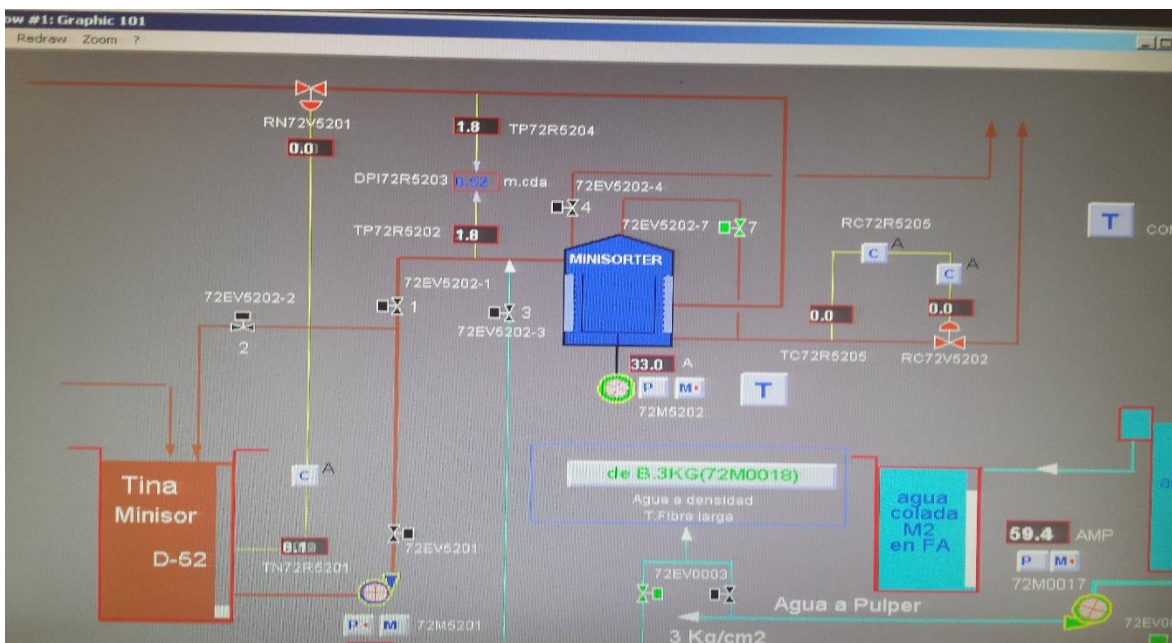
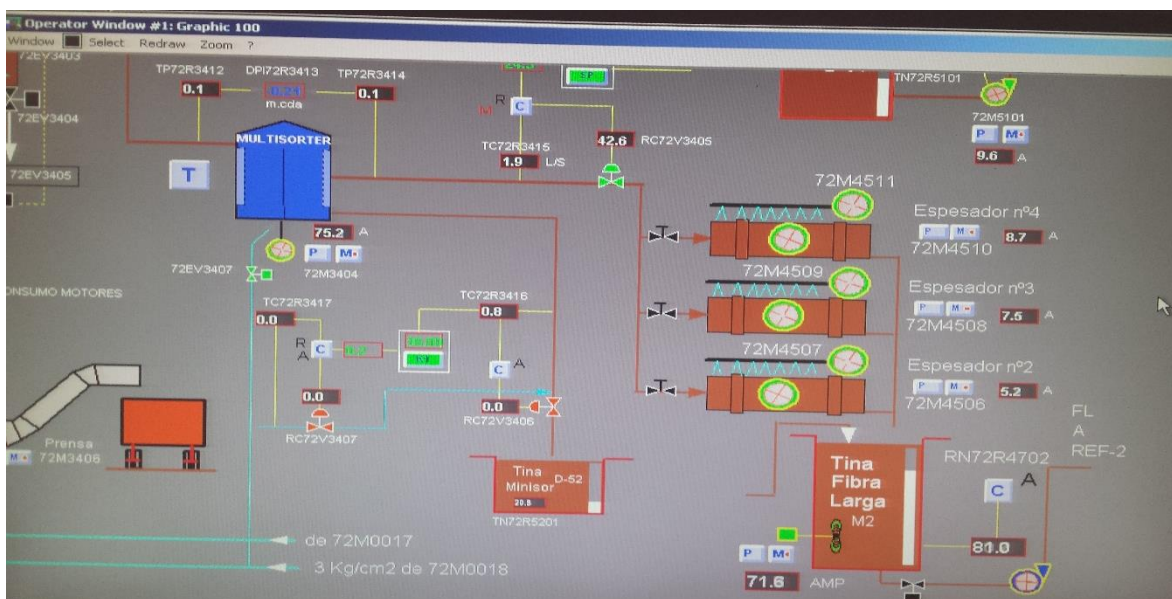


Figura A 9 i Figura A 10: Circuit del blanc

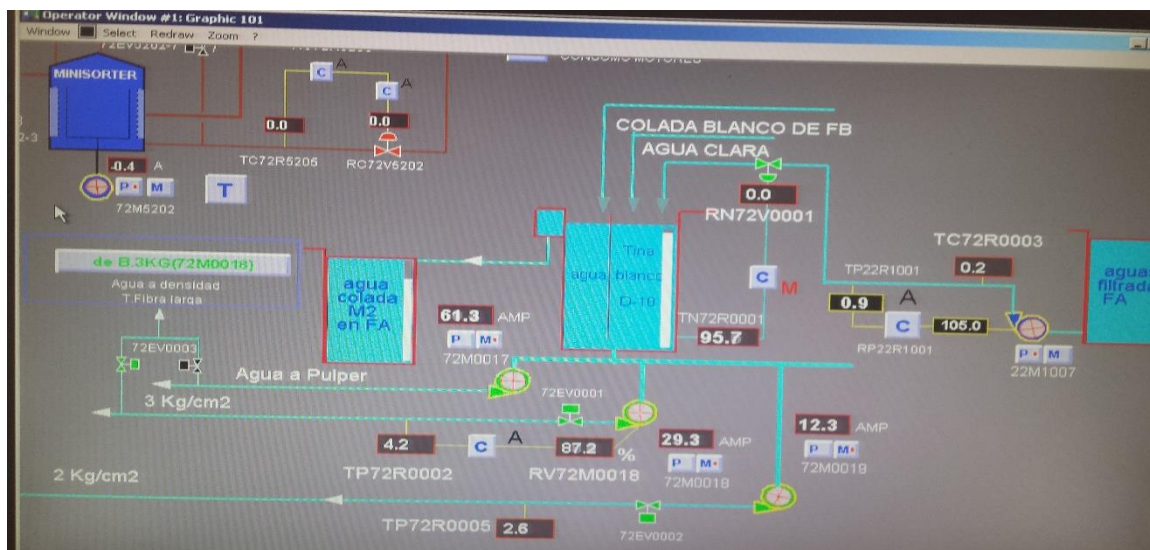
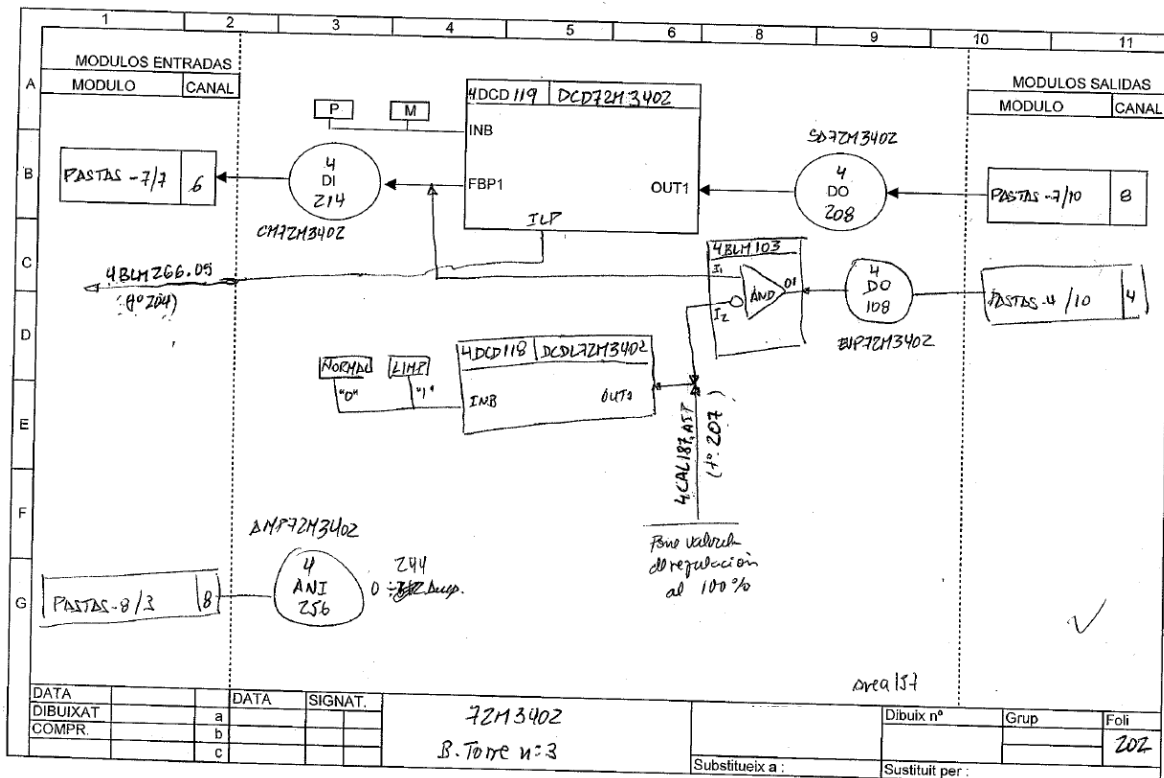
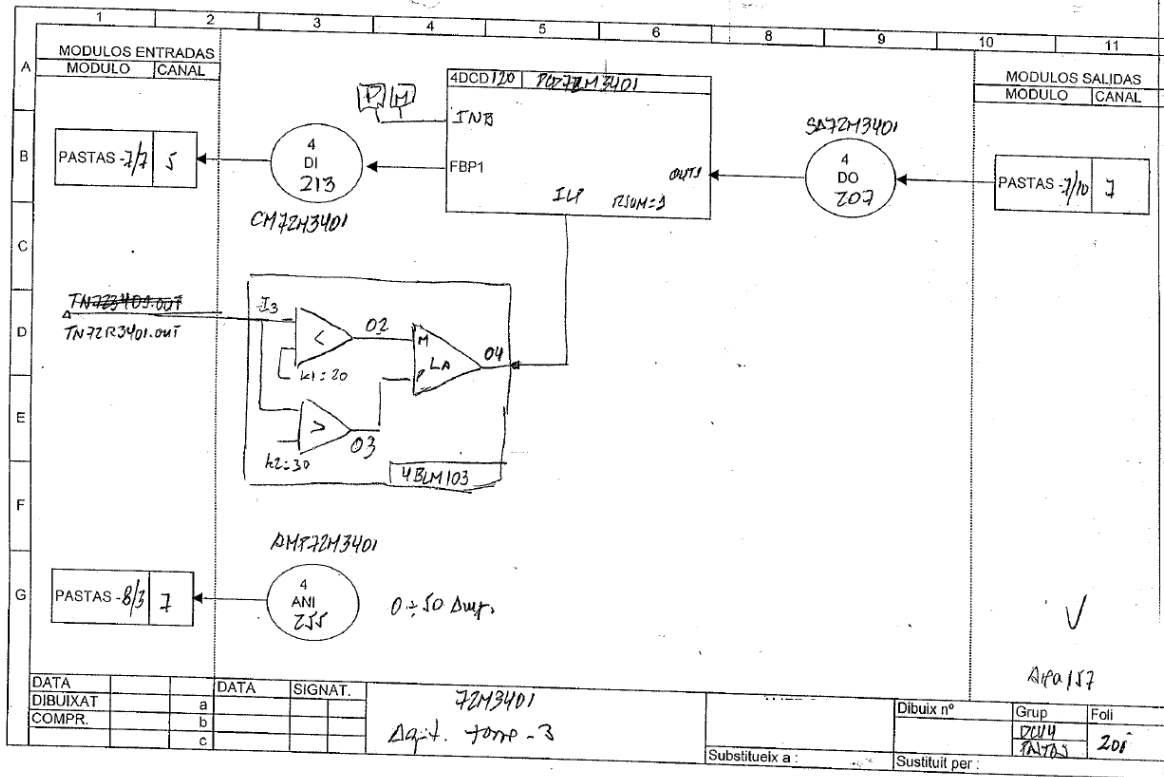
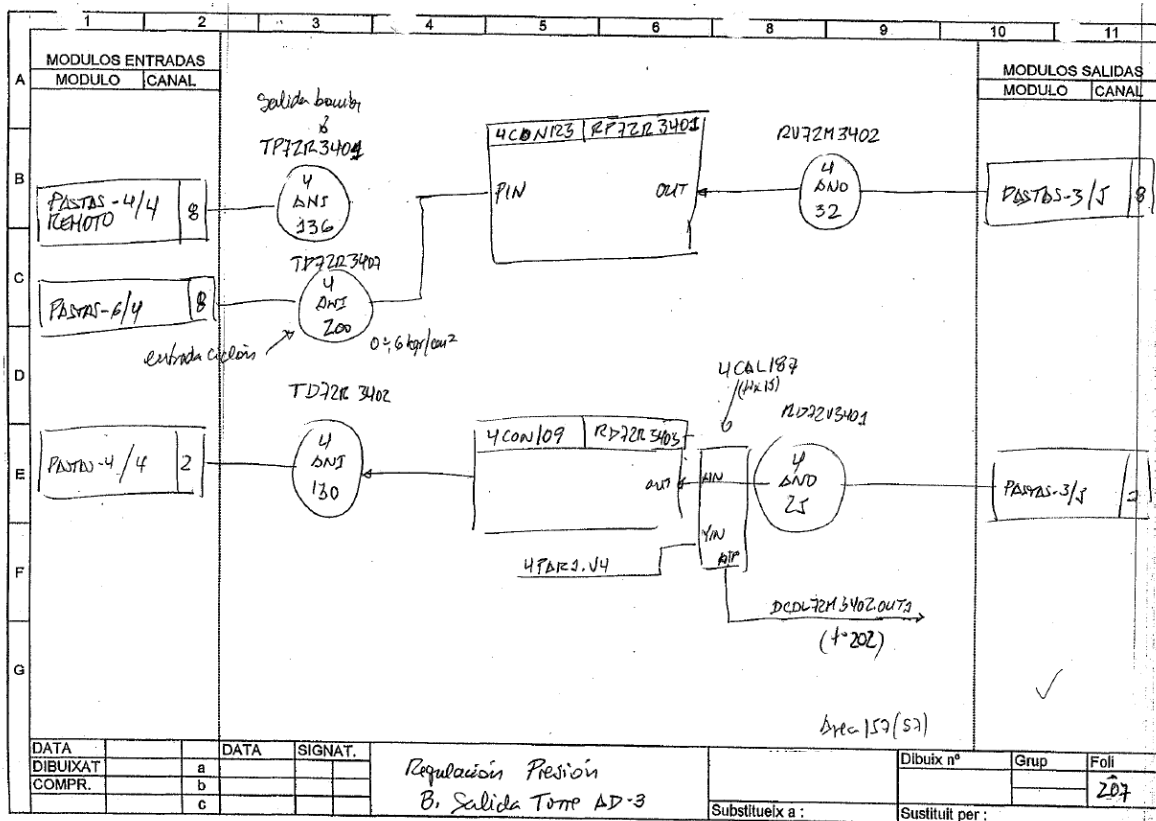
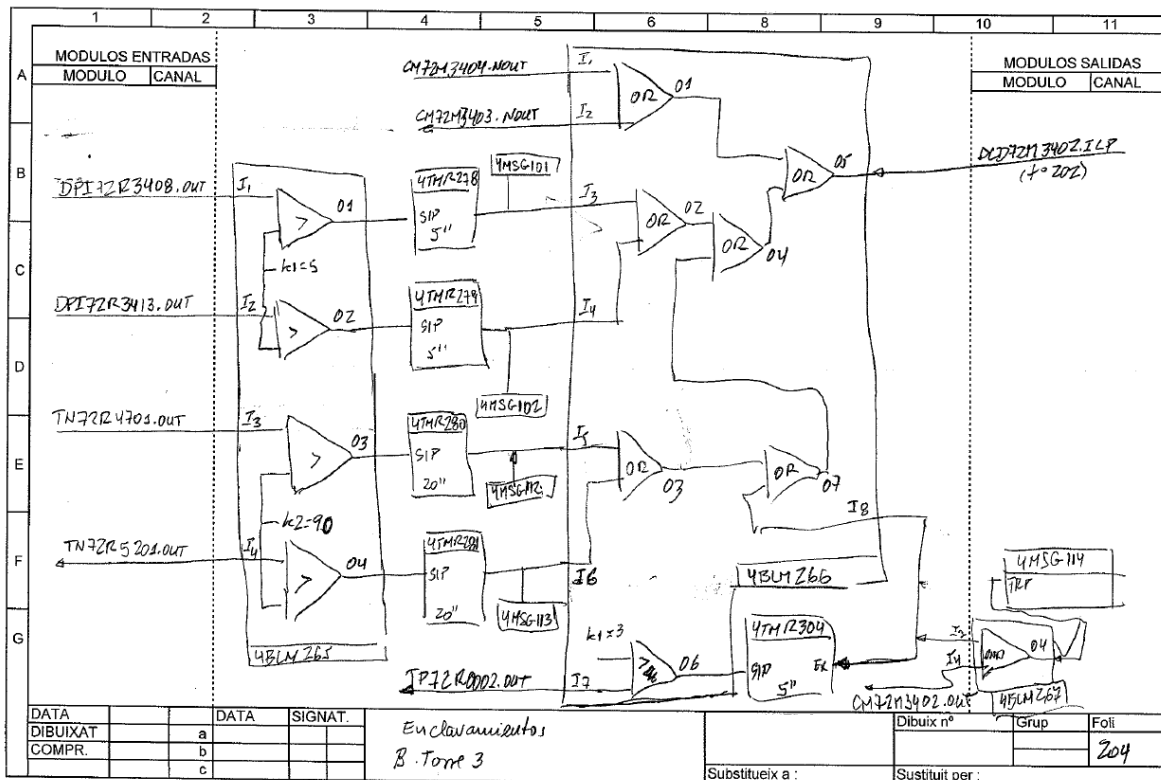
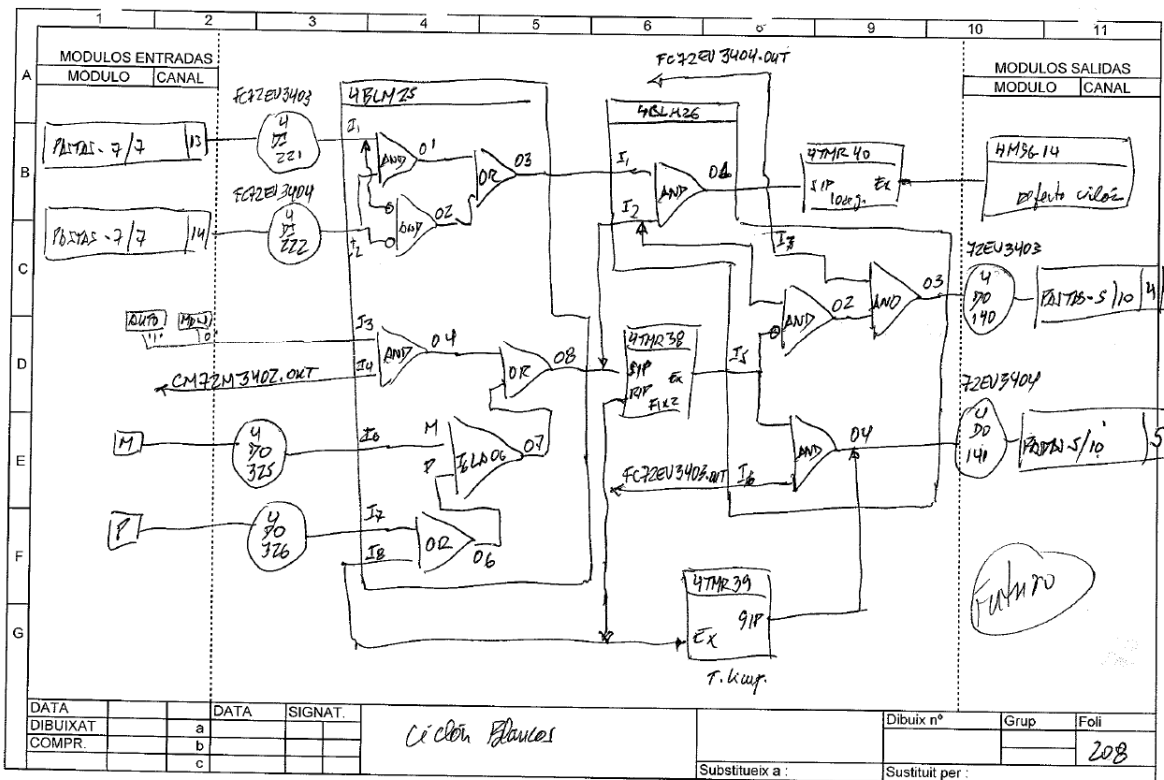
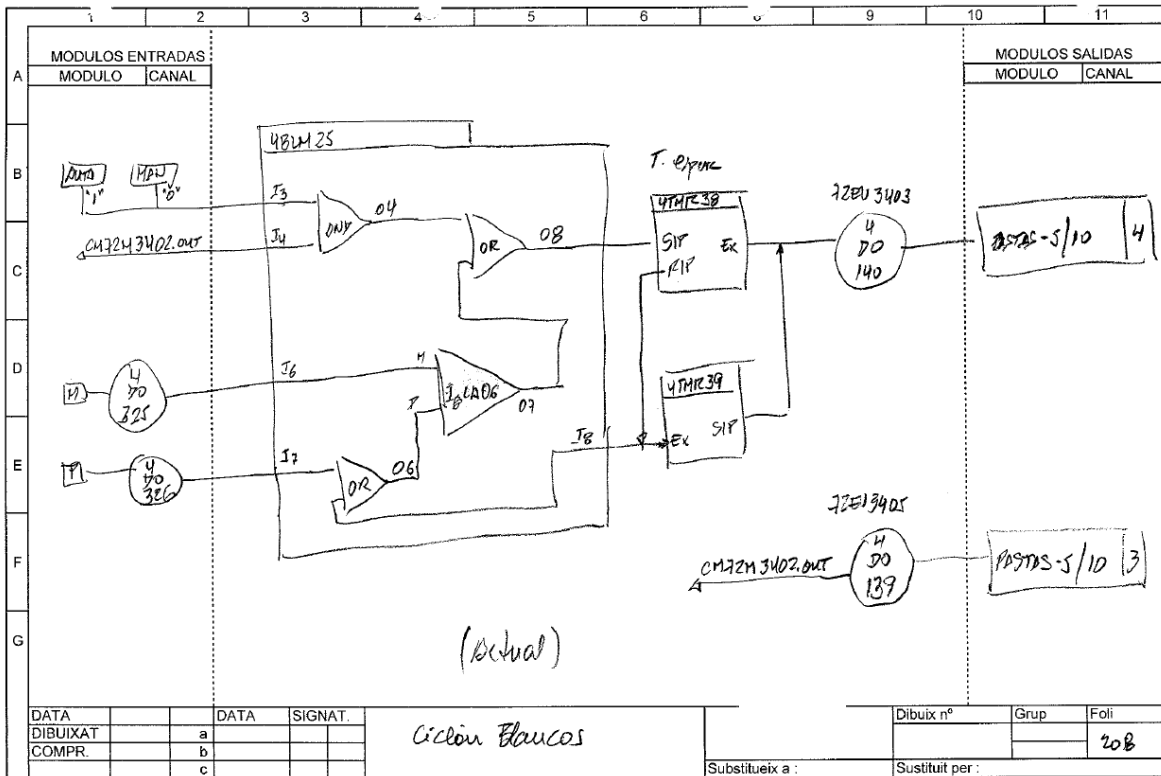


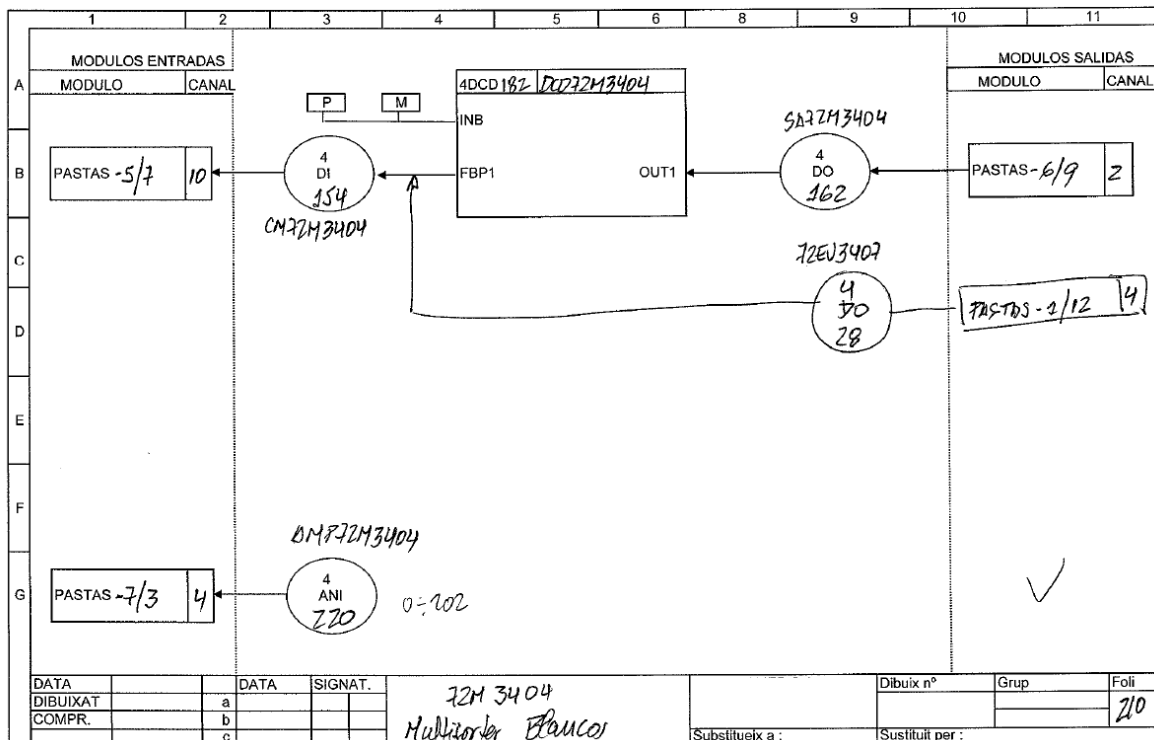
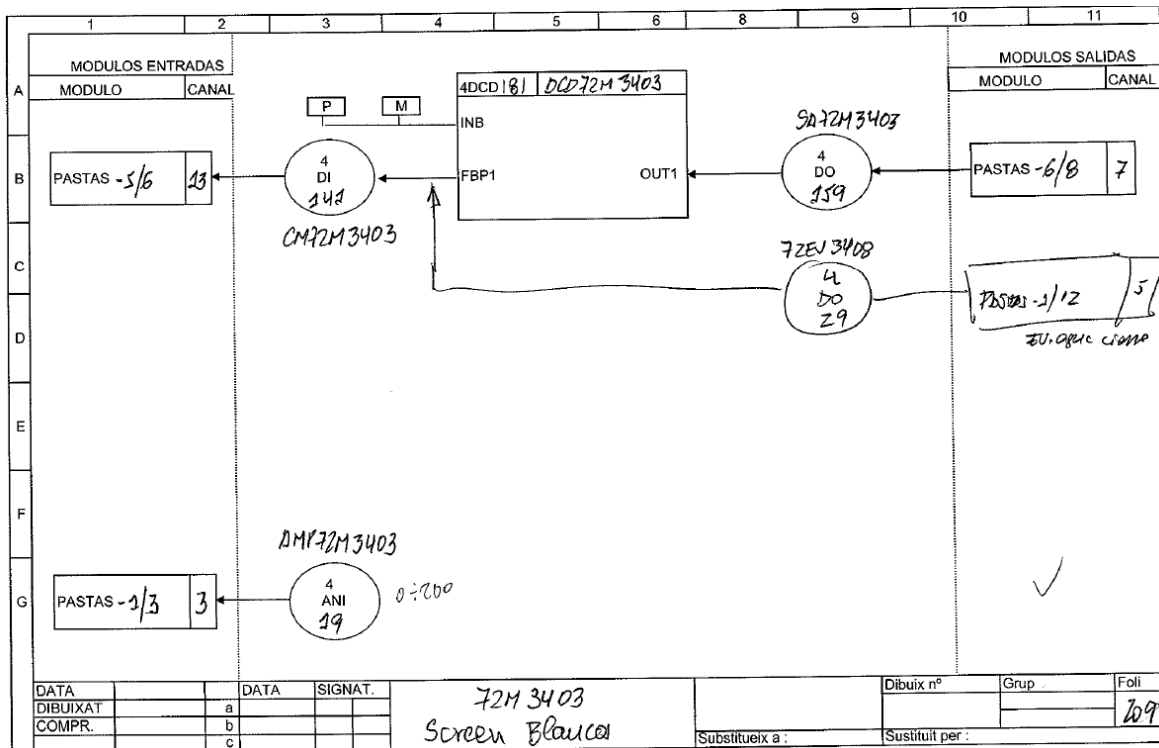
Figura A 11: Tina aigües circuit del blanc

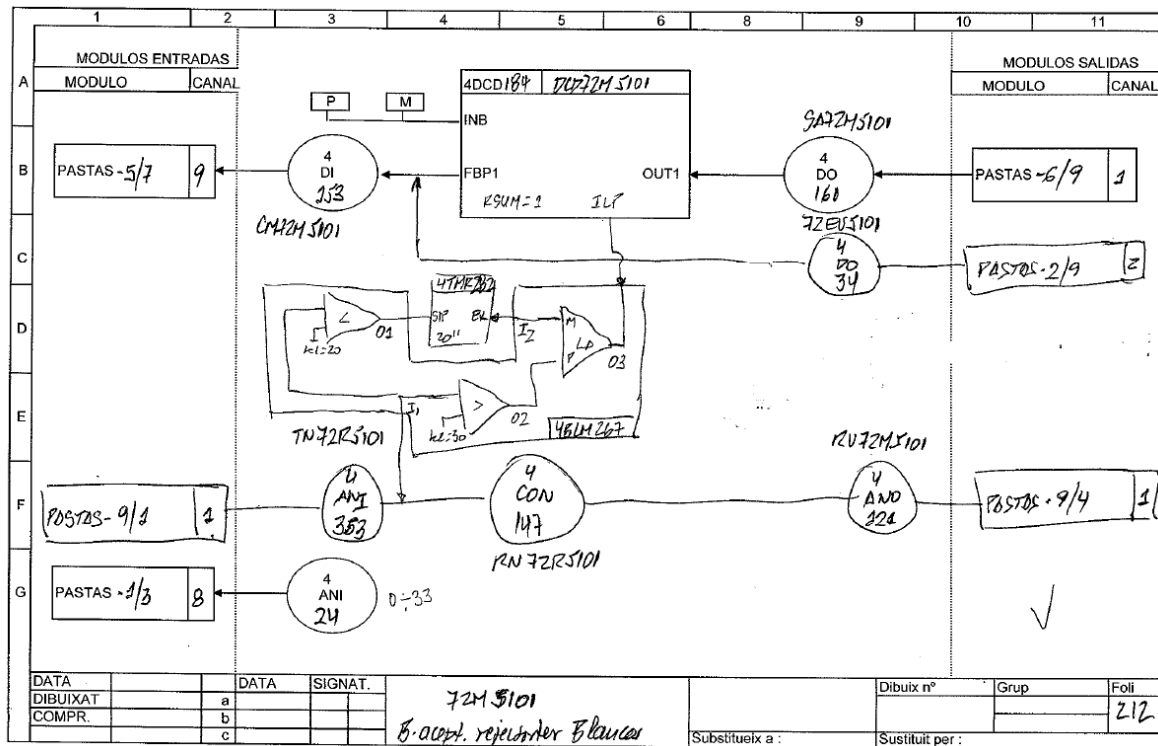
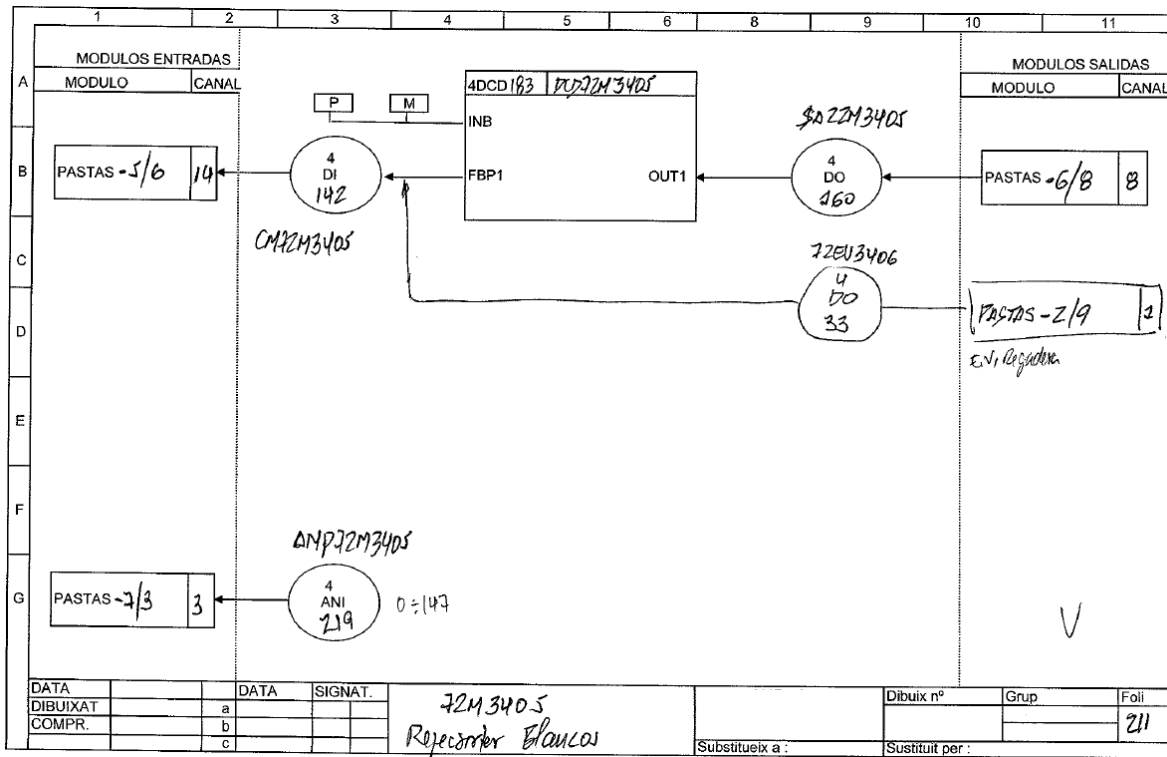
A4 - Lògica del sistema de control distribuït actual:

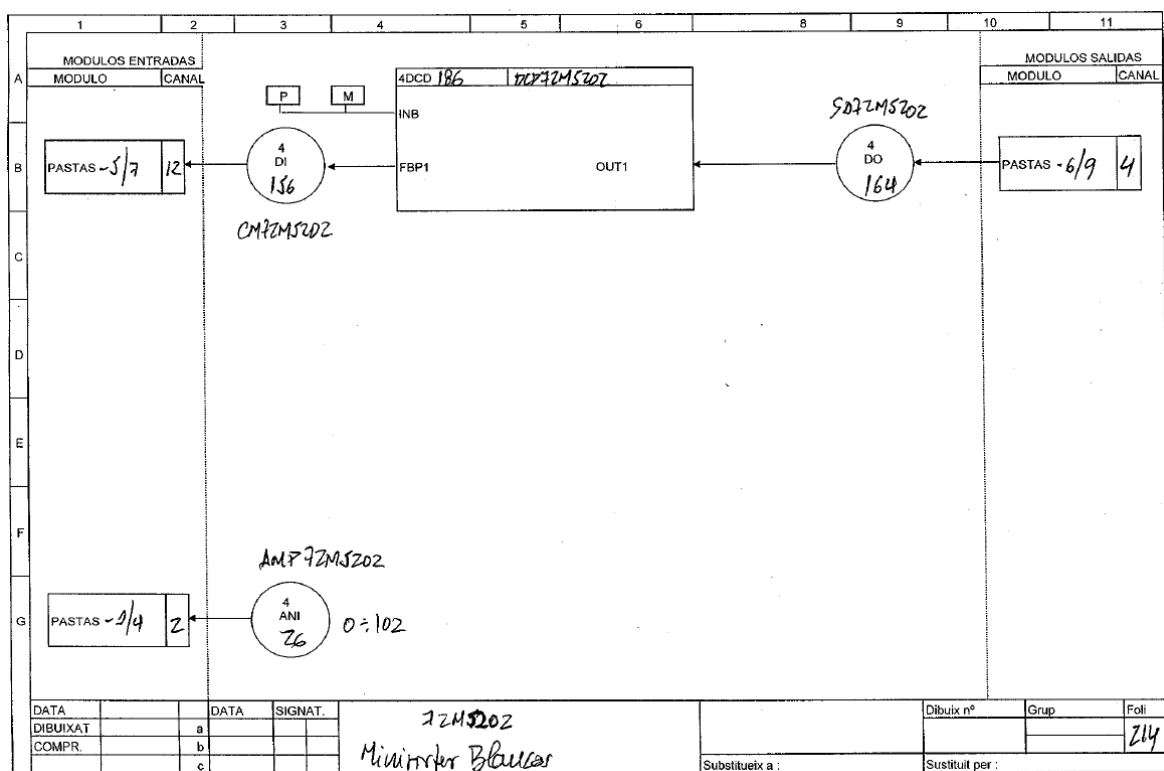
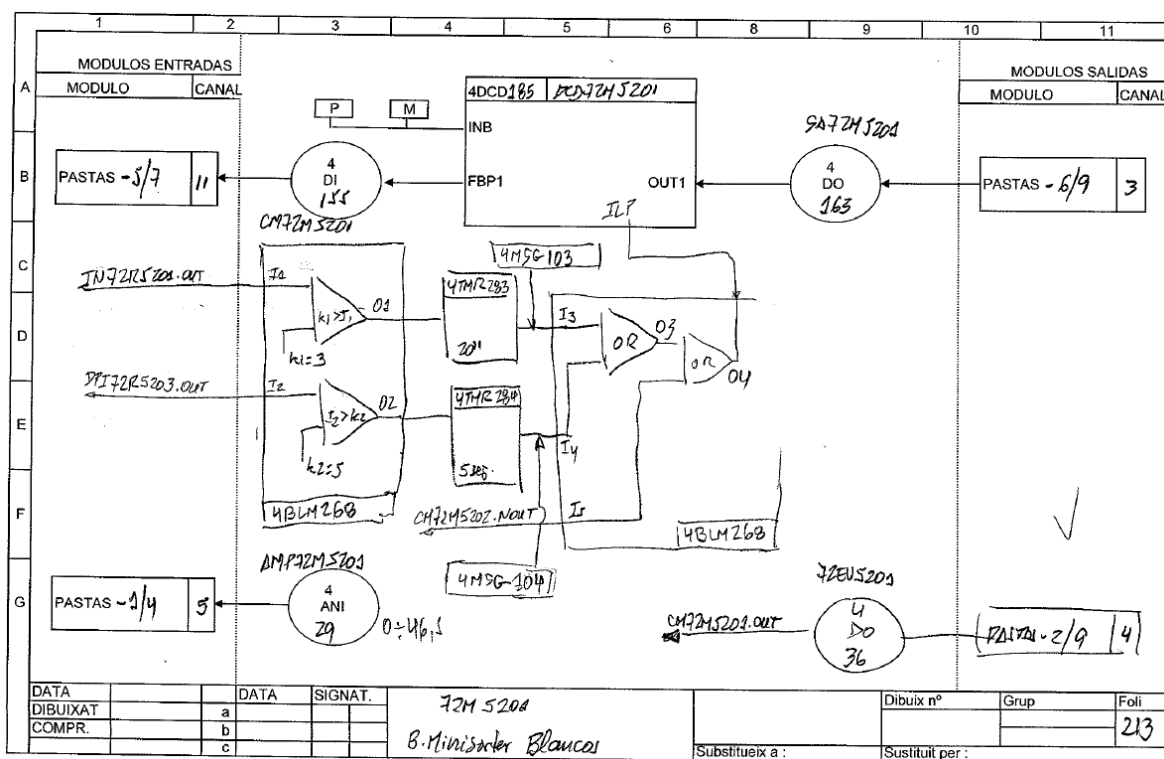


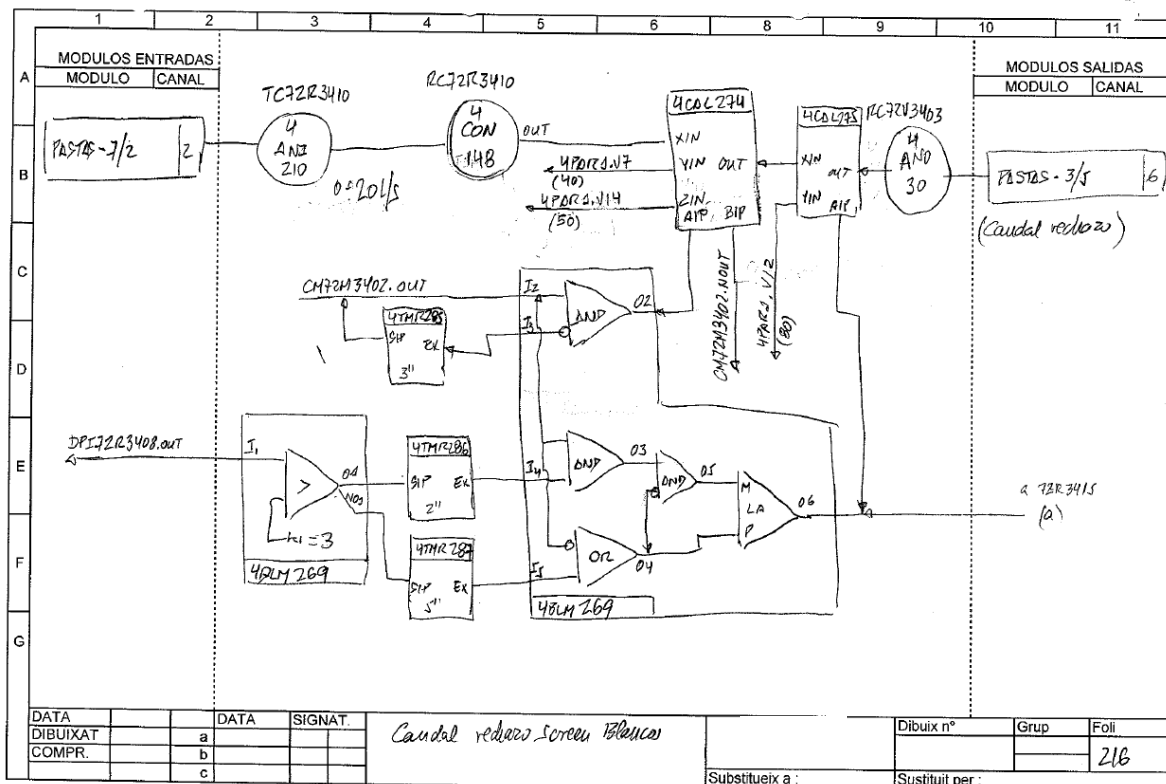
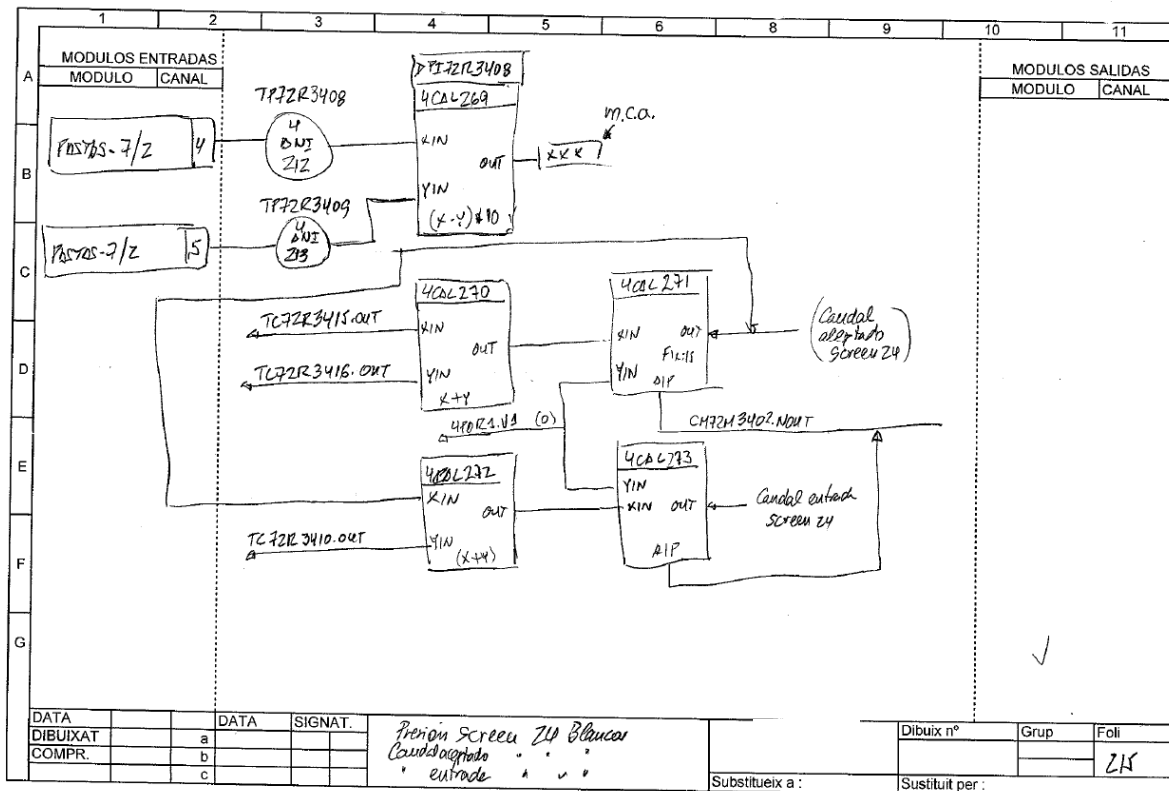


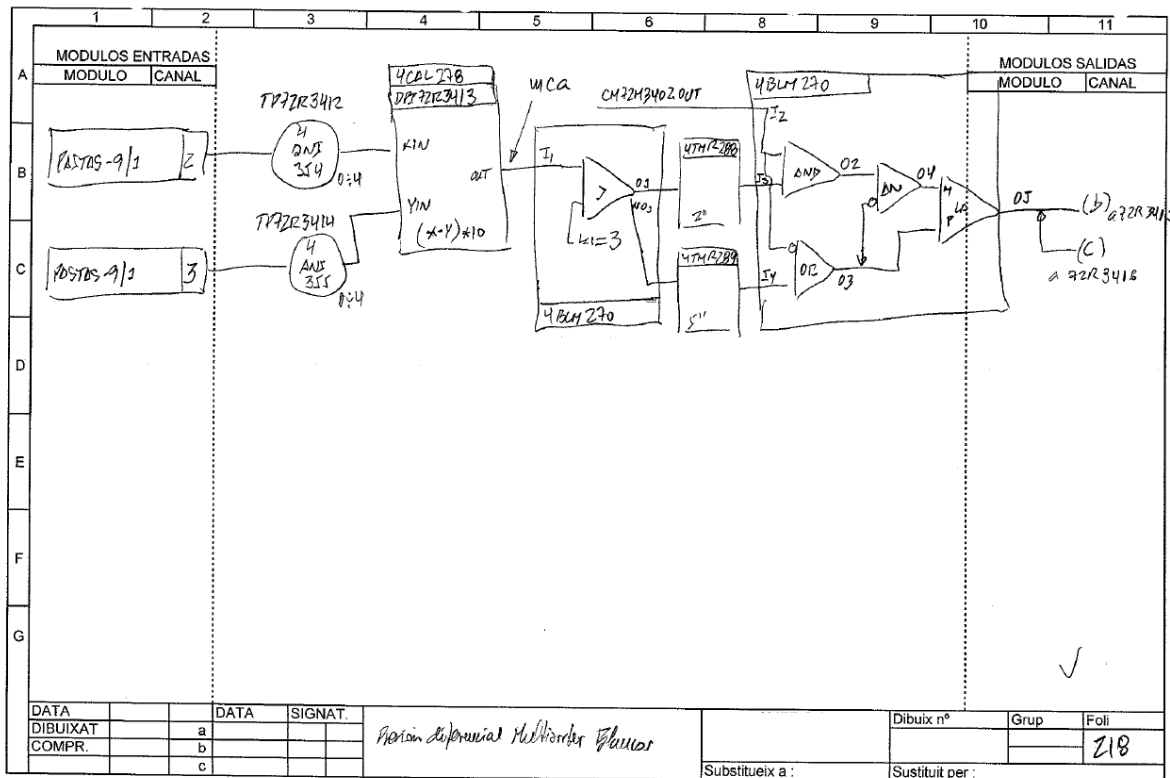
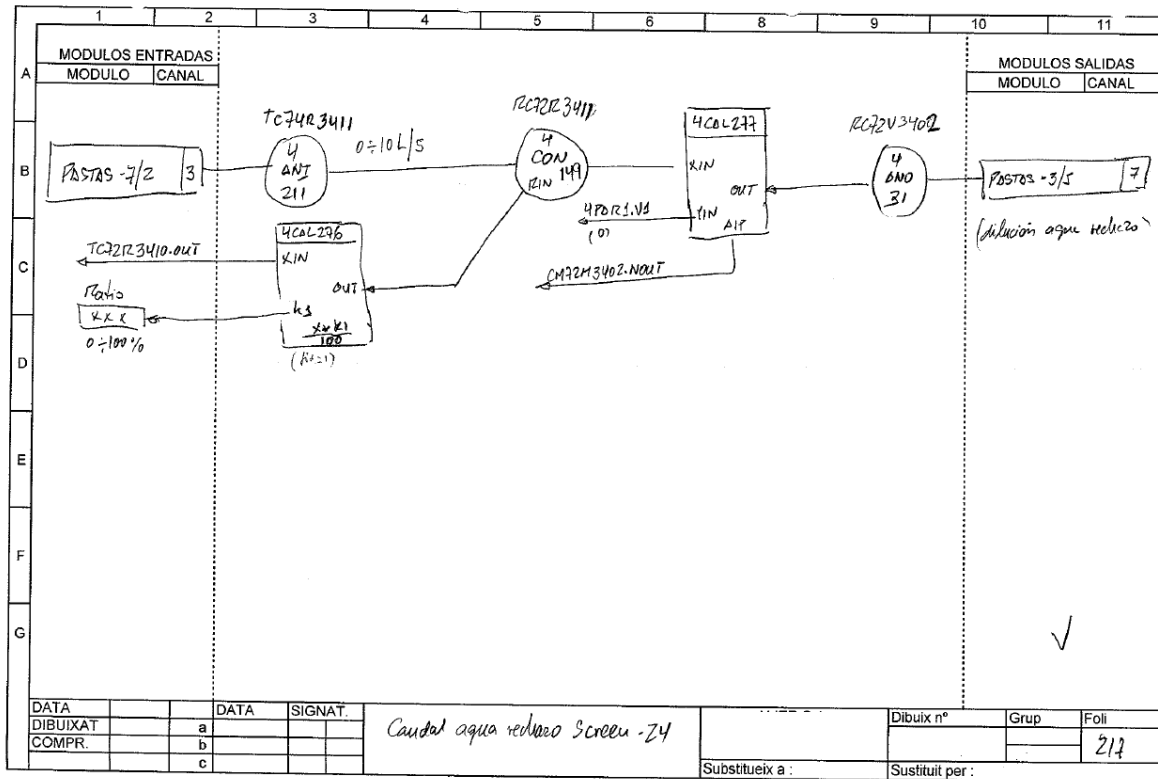


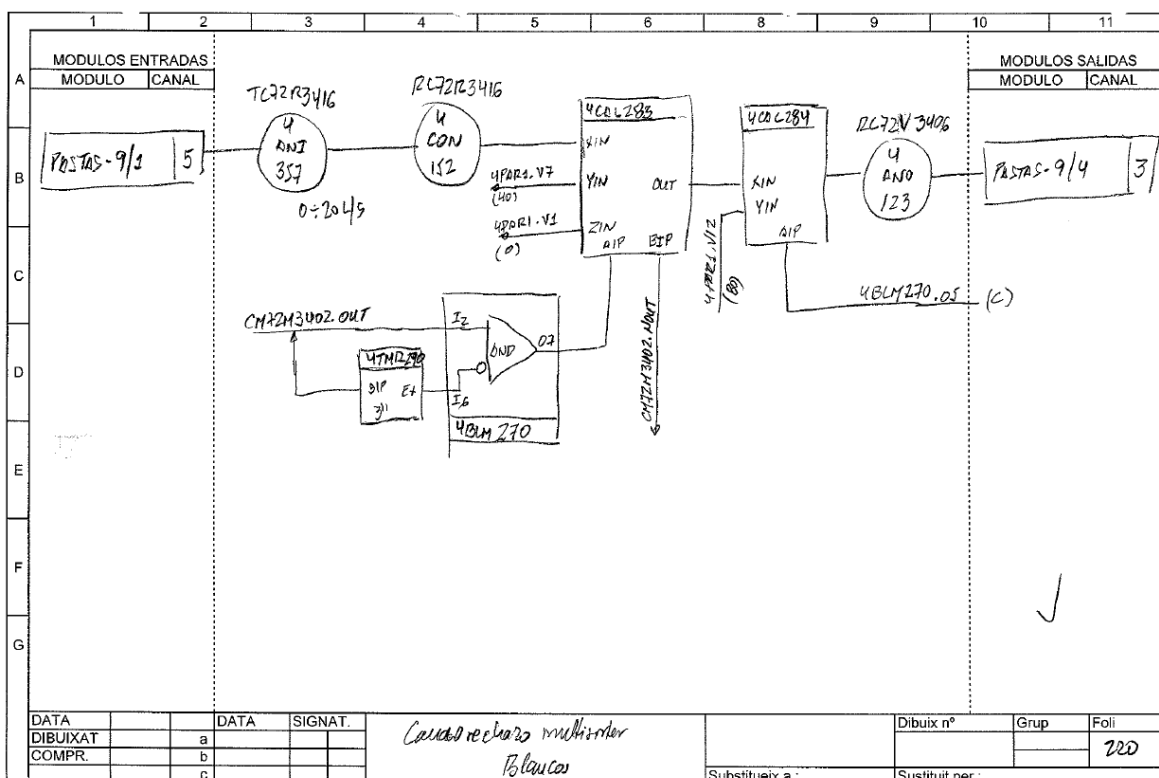
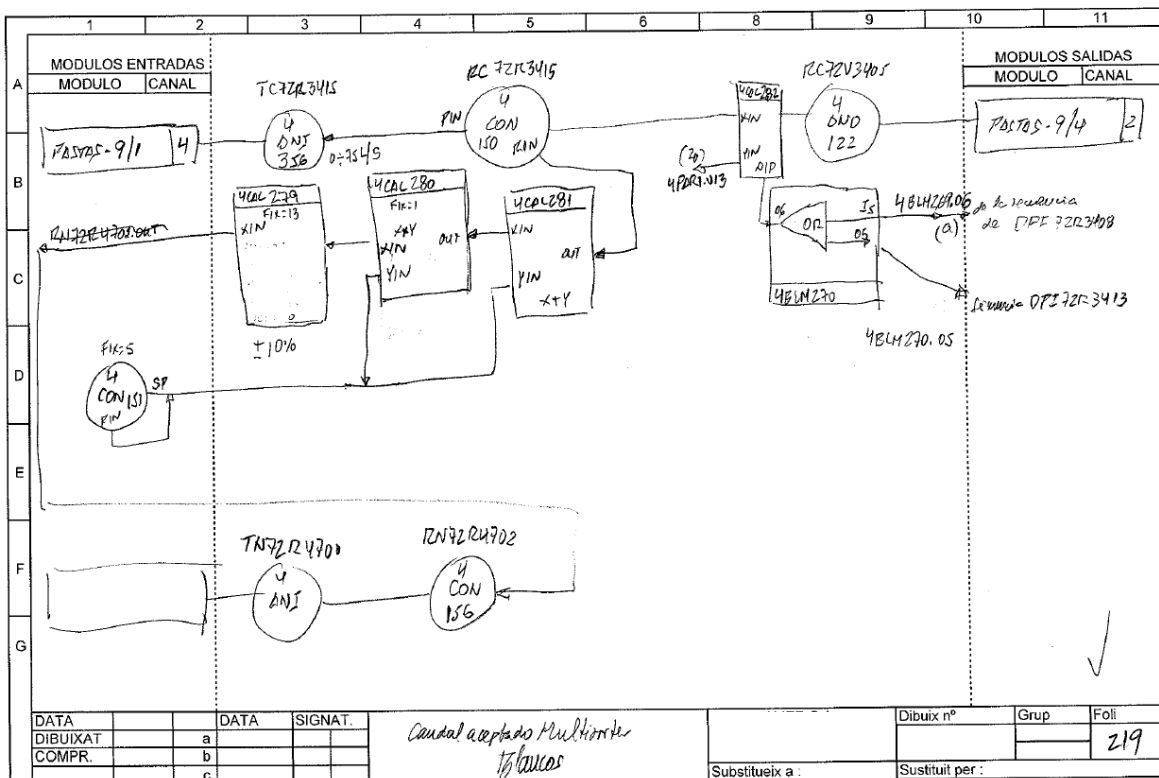


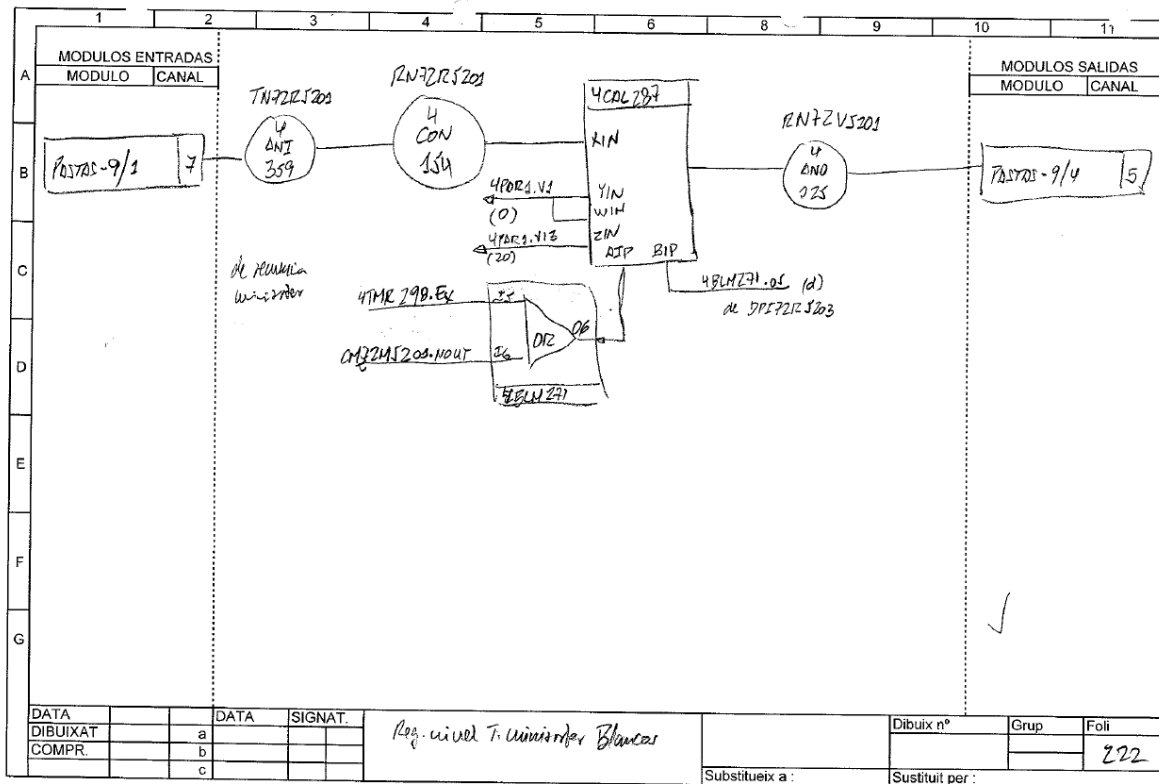
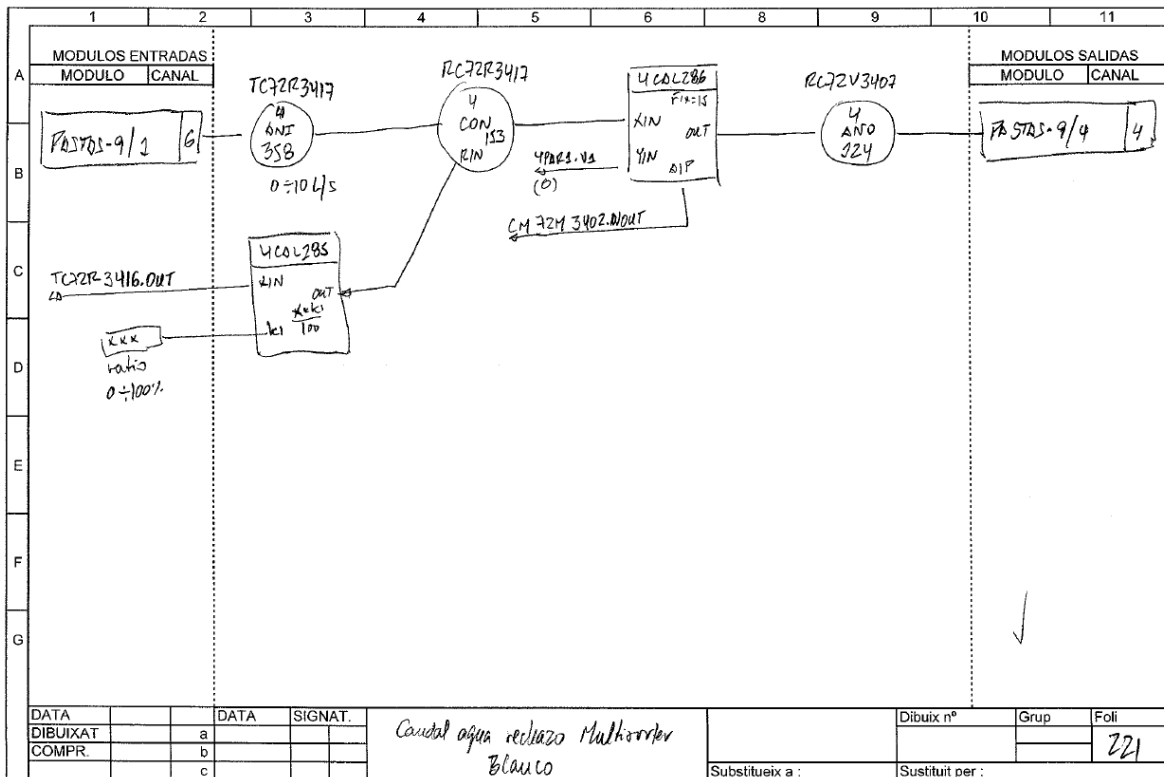


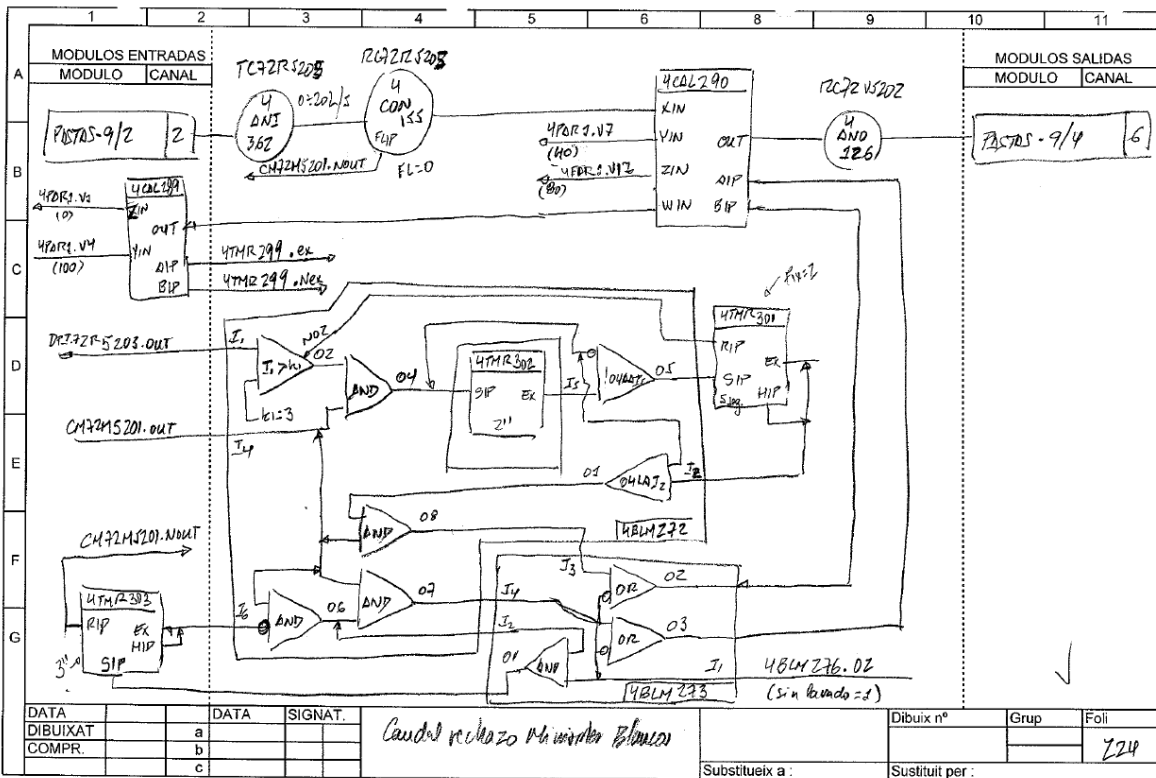
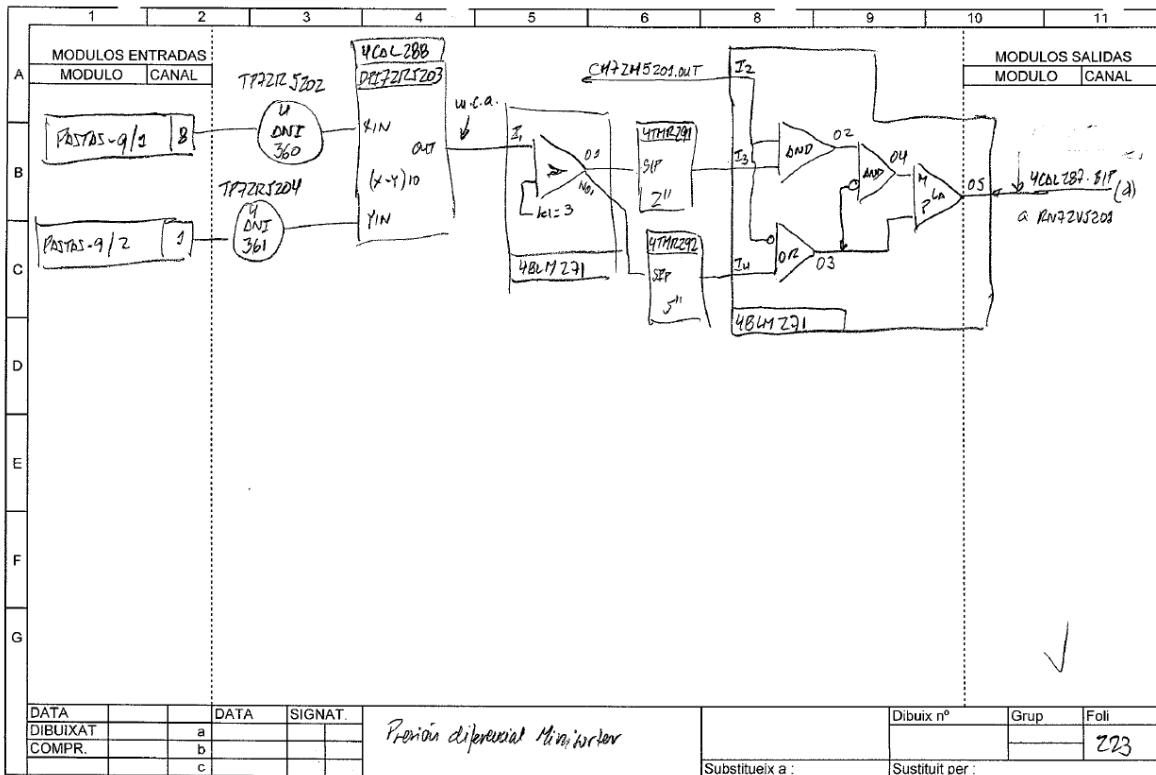


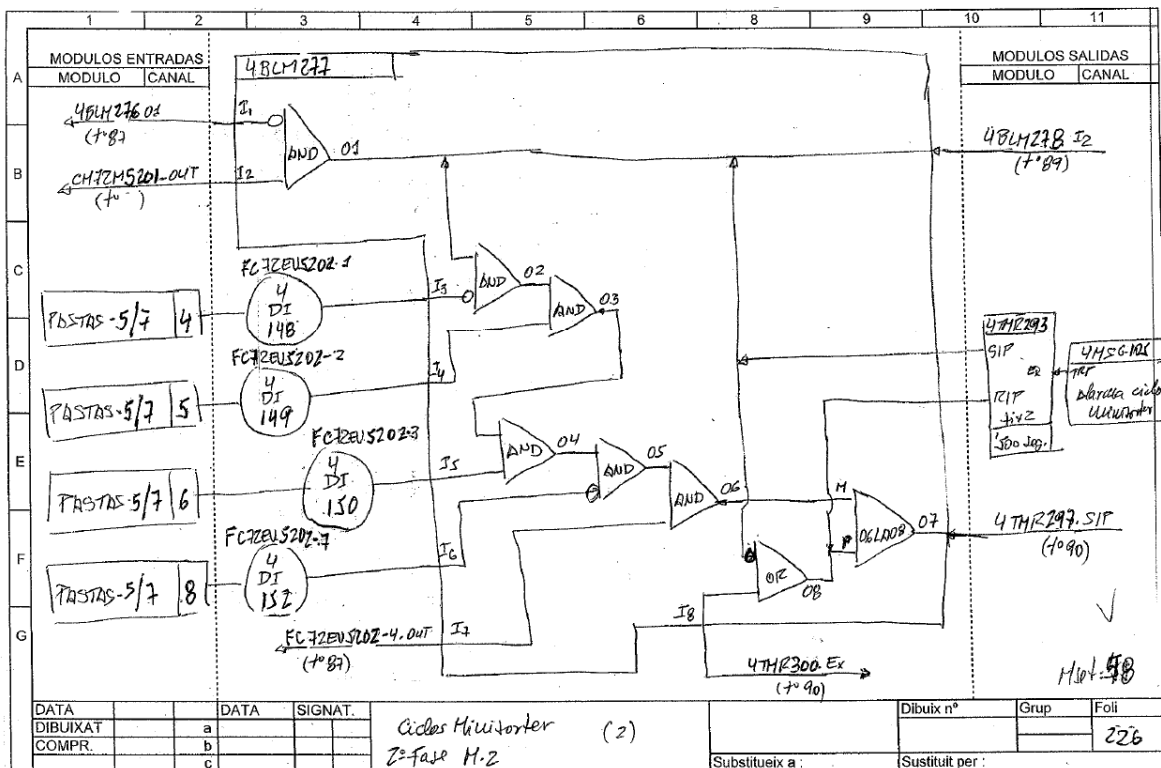
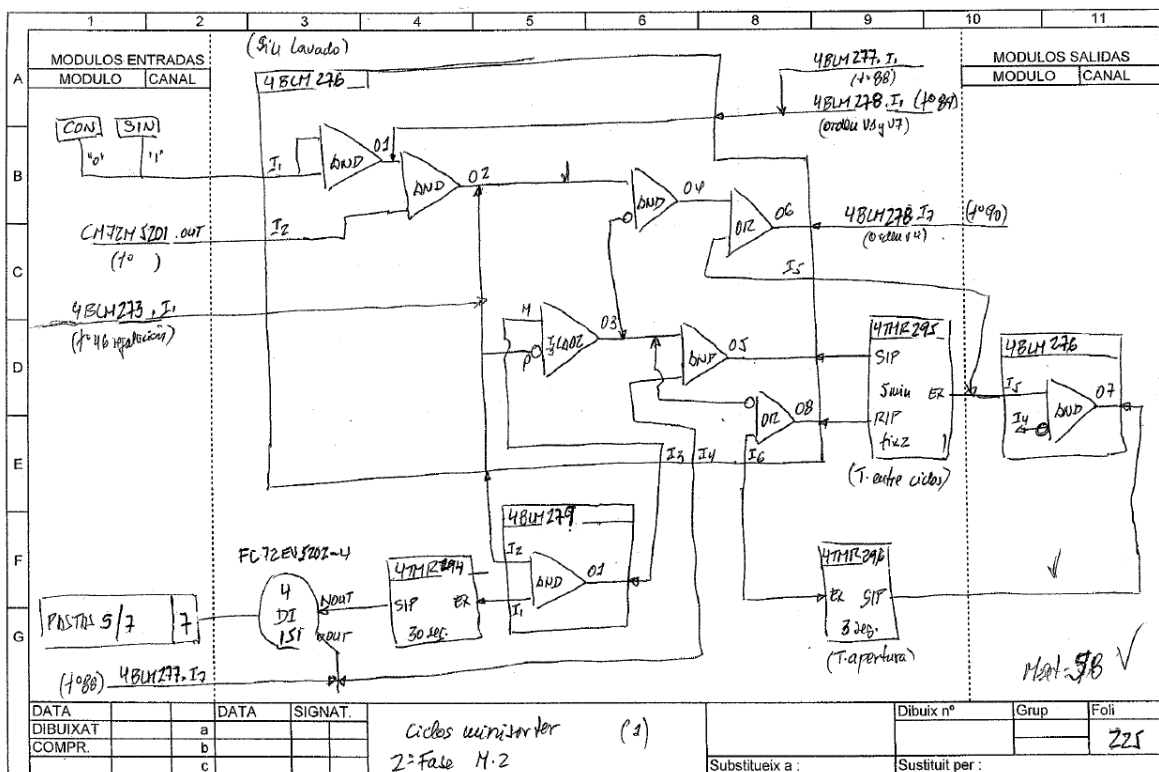


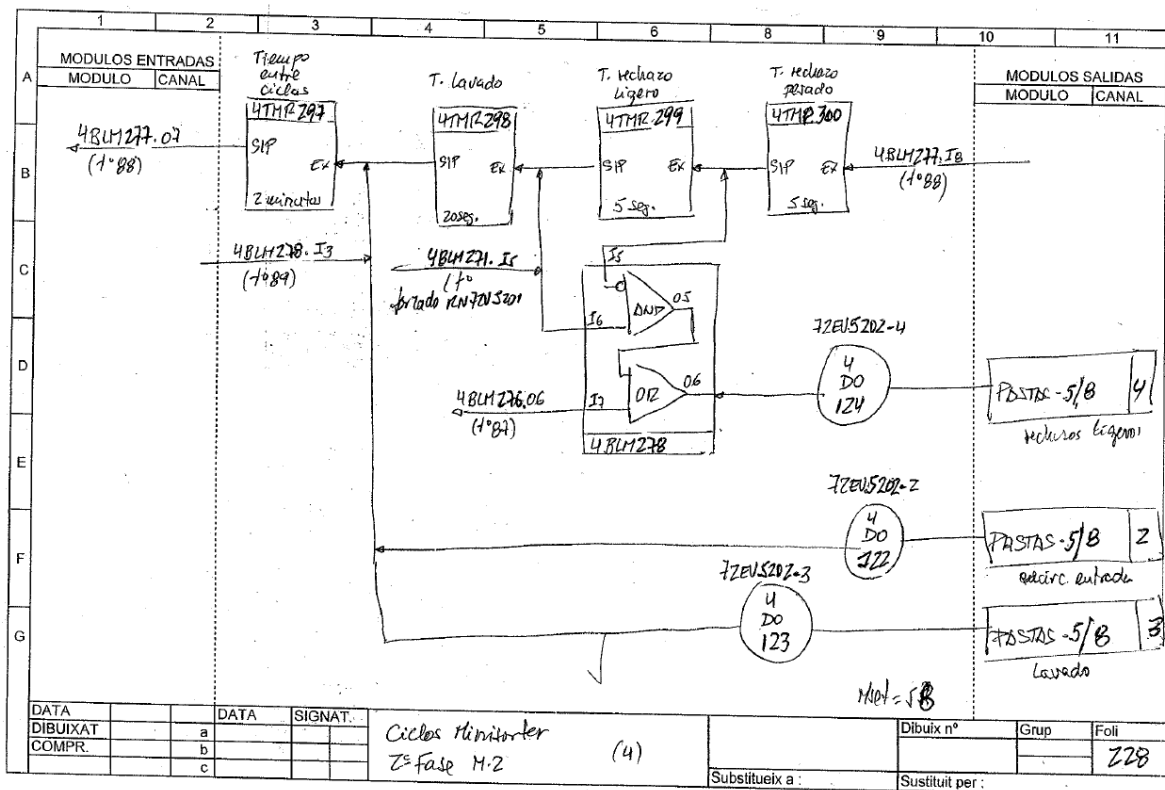
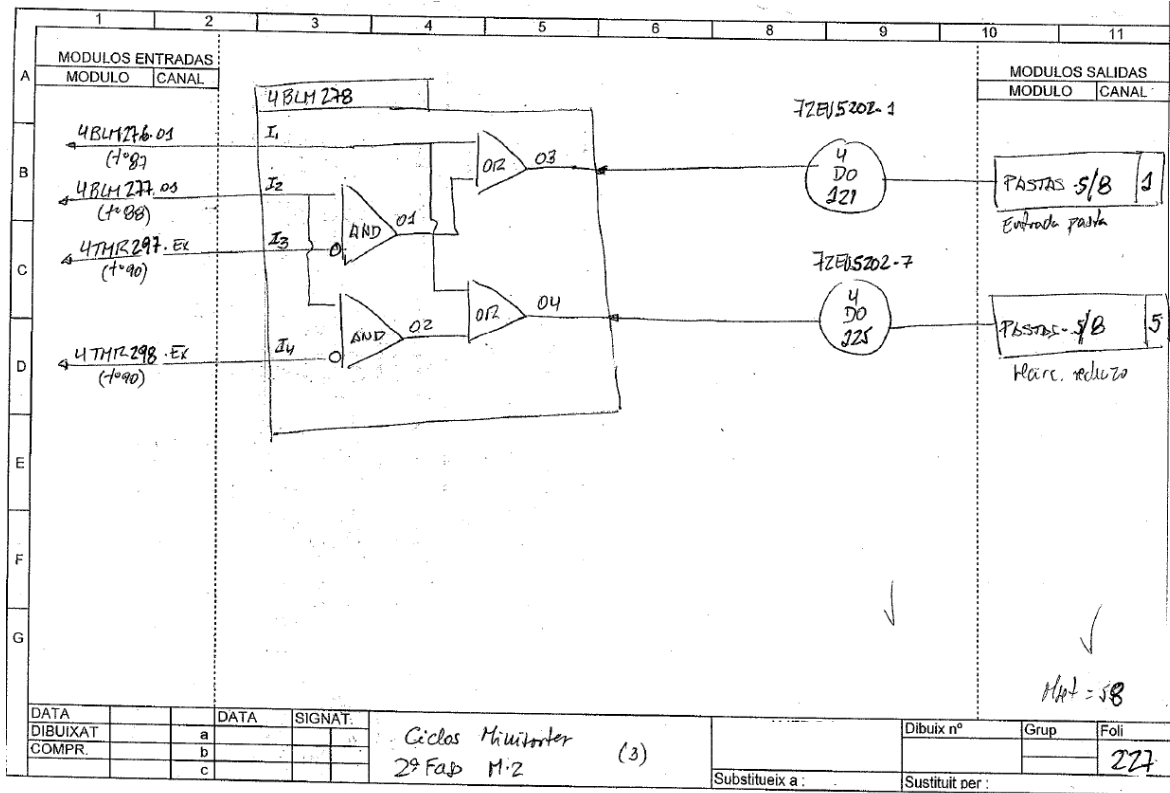


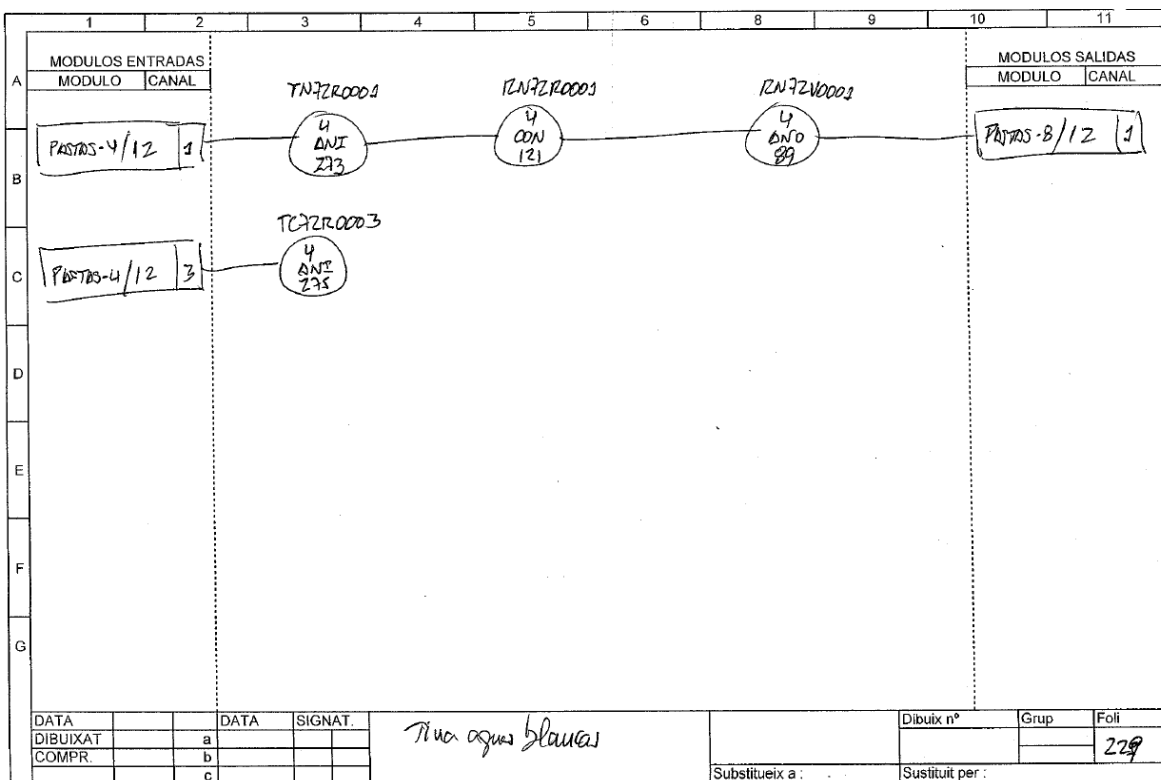


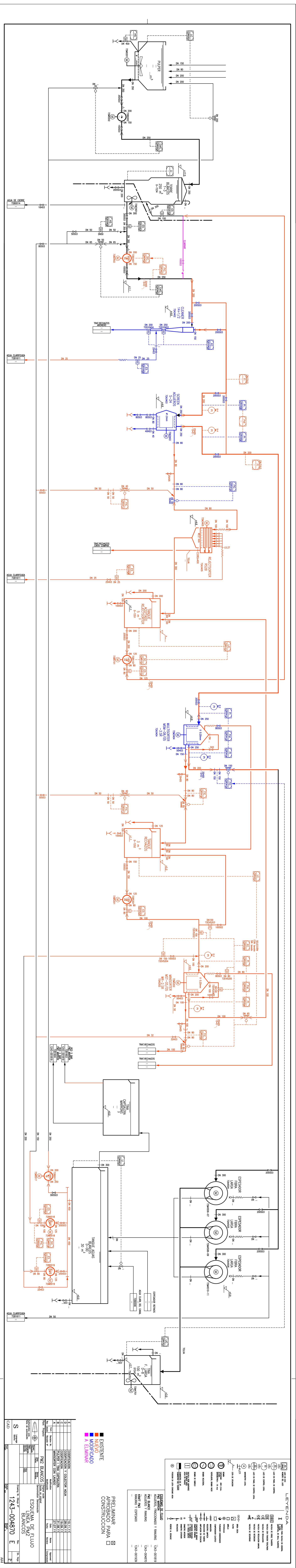












COLOR	FLUVELLA	GROSSOR
1	7	0.18
2	7	0.35
3	7	0.5
4	7	0.25
5	7	0.7
6	7	0.18
7	7	0.25
20	20	0.25
21	20	0.5
106	106	0.25
107	106	0.5
170	170	0.25
171	170	0.5